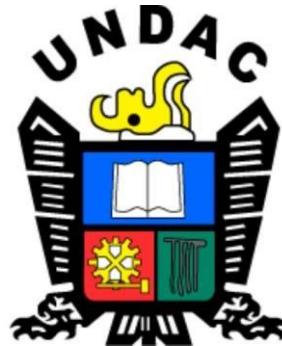


**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Efecto de la flotación por espumas en la recuperación de plomo, zinc y plata  
en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023**

**Para optar el título profesional de:**

**Ingeniero Metalurgista**

**Autor:**

**Bach. Luis Raul POMA ROJAS**

**Asesor:**

**Mg. Osmer Ignacio BLANCO CAMPOS**

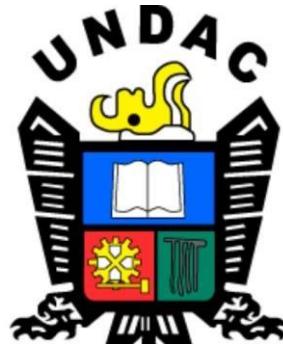
**Cerro de Pasco – Perú – 2025**

**UNIVERSIDAD NACIONAL DANIEL ALCIDES CARRIÓN**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**ESCUELA DE FORMACIÓN PROFESIONAL DE INGENIERÍA**

**METALÚRGICA**



**T E S I S**

**Efecto de la flotación por espumas en la recuperación de plomo, zinc y plata  
en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023**

**Sustentada y aprobada ante los miembros del jurado:**

---

**Dr. Eduardo Jesús MAYORCA BALDOCEDA**  
**PRESIDENTE**

---

**Mg. Edgar Yoni AIRE MENDOZA**  
**MIEMBRO**

---

**Mg. Manuel Antonio HUAMAN DE LA CRUZ**  
**MIEMBRO**



**INFORME DE ORIGINALIDAD N° 337-2025-UNDAC/UIFI**

La Unidad de Investigación de la Facultad de Ingeniería de la Universidad Nacional Daniel Alcides Carrión en mérito al artículo 23° del Reglamento General de Grados Académicos y Títulos Profesionales aprobado en Consejo Universitario del 21 de abril del 2022, La Tesis ha sido evaluado por el software antiplagio Turnitin Similarity, que a continuación se detalla:

Tesis:

**Efecto de la flotación por espumas en la recuperación de  
plomo, zinc y plata en la planta concentradora en una empresa  
minera, Pasco 2023**

Apellidos y nombres del tesista

**Bach. Luis Raul, POMA ROJAS**

Apellidos y nombres del Asesor:

Mg. Osmer Ignacio, BLANCO CAMPOS

Escuela de Formación Profesional

**Ingeniería Metalúrgica**

Índice de Similitud

**11 %**

**APROBADO**

Se informa el Reporte de evaluación del software similitud para los fines pertinentes.

Cerro de Pasco, 27 de octubre del 2025



Firmado digitalmente por PALOMINO  
ISIDRO Ruben Edgar FAU  
20154630046 soft  
Motivo: Soy el autor del documento  
Fecha: 27.10.2025 18:49:57 -05:00

## **DEDICATORIA**

Agradezco a Dios por protegerme durante todo mi camino y darme fuerzas para superar obstáculos y dificultades a lo largo de toda mi vida. A mi madre, que con su demostración de una madre ejemplar me ha enseñado a no desfallecer ni rendirme ante nada y siempre perseverar a través de sus sabios consejos.

## **AGRADECIMIENTO**

Le agradezco a dios por haberme permitido vivir hasta este día, haberme guiado a lo largo de mi vida por ser mi apoyo, mi luz y mi camino. Por haberme dado fortaleza para seguir adelante en aquellos momentos de debilidad.

Estoy agradecido enormemente con mis padres por todo el amor y apoyo brindado a lo largo de mi vida por darme la oportunidad de seguir una carrera profesional y aún más agradecido por seguir la carrera de Ingeniería Metalúrgica

## RESUMEN

Respecto al estudio sobre “Efecto de la flotación por espumas en la recuperación de plomo, zinc y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023”, el objetivo del estudio es la recuperación de plomo, zinc y plata por método de flotación por espumas, el enfoque de investigación es cuantitativa de tipo de investigación aplicada - tecnológica. La población fue conformada por el mineral de la zona horizonte nivel 420 en la estructura Lucero Romel del techo labor Tj-525. De las pruebas realizadas se llegó a las siguientes conclusiones: la dureza del mineral es de dureza media, el análisis químico fueron los siguientes: 0.04% de cobre, 0.72% de plomo, 1.53% de zinc y 91.35 gr/t de plata, de los concentrados de plomo y concentrados de zinc están dentro de los grados comerciales con respecto a la ley de cabeza.

La recuperación de plata presenta rentabilidad y los parámetros operacionales de la planta concentradora están relacionadas por la ley de cabeza del plomo y la cinética de flotación. La cinética de flotación en la etapa Bulk mostró una flotabilidad acelerada para el plomo seguida de la plata y el cobre influenciados por el contenido de estos valores en la cabeza.

Los resultados de la prueba Batch muestra performance metalúrgico regular para los valores de plata debido a la recuperación acumulada alcanzada (77.02%) la performance para los valores de plomo y zinc son buenos con respecto al lay de cabeza debido a las recuperaciones y calidades obtenidas.

**Palabras clave:** Flotación por espumas, pruebas batch, concentrado de plomo, concentrado de zinc, ley de cabeza, performance. cinética de flotación.

## ABSTRACT

Regarding the study on "Effect of froth flotation on the recovery of lead, zinc and silver in the concentrator plant in a mining company, Pasco 2023", the objective of the study is the recovery of lead, zinc and silver by froth flotation method, the research approach is quantitative applied research type - technological. The population was conformed by the mineral of the zone horizon level 420 in the Lucero Romel structure of the Tj-525 labor roof. From the tests carried out, the following conclusions were reached: the hardness of the mineral is of medium hardness, the chemical analysis was as follows: 0.04% copper, 0.72% lead, 1.53% zinc and 91.35 gr/t silver, the lead concentrates and zinc concentrates are within the commercial grades with respect to the head grade.

The silver recovery is profitable and the concentrator plant operating parameters are related to the lead head grade and the flotation kinetics. The flotation kinetics in the bulk stage showed an accelerated buoyancy for lead followed by silver and copper influenced by the content of these values in the head.

Batch test results show fair metallurgical performance for silver values due to the cumulative recovery achieved (77.02%). The performance for lead and zinc values are good with respect to the head lay due to the recoveries and qualities obtained.

**Key words:** Froth flotation, batch tests, lead concentrate, zinc concentrate, head grade, performance. flotation kinetics, flotation kinetics.

## INTRODUCCIÓN

Nuestro país se destaca principalmente por su industria minera, siendo esta la principal fuente de ingresos. Dentro de la amplia variedad de minerales presentes en nuestro territorio, predominan los de tipo polimetálico. En el contexto de esta investigación, se ha trabajado con un compósito de mineral polimetálico proveniente de la empresa minera Pan American Silver Huaron, ubicada en el distrito de Huallay, departamento y provincia de Pasco.

Los minerales presentes en este compósito incluyeron galena, geocronita, calcopirita, esfalerita, así como asociaciones mineralógicas con minerales de cobre y plomo, teniendo una ley de cabeza 0.04% de cobre, 0.72% de plomo, 1.53% de zinc y 91.35 gramos por tonelada de plata

El objetivo principal de este estudio de tesis es aplicar el proceso de flotación por espumas para optimizar el proceso de recuperación de plomo y zinc como plata como metal valioso en las pruebas se desarrollaron en etapas clave: flotación rougher bulk, flotación cleaner bulk, flotación scavenger bulk, flotación rougher zinc, flotación cleaner zinc y flotación scavenger zinc.

Durante el desarrollo experimental, se emplearon diversos reactivos de flotación como Z-11, Z-6, cal, sulfato de cobre, H-150 y sulfato de zinc. Se consideró un grado de molienda del 55% de malla -200 para el circuito bulk y rougher Zn I; además, se llevó a cabo una remolienda del relave rougher Zn I para alcanzar el 60% de malla -200 ASTM.

Este trabajo de investigación tiene como objetivo principal lograr la máxima recuperación de los valores de plomo, zinc y plata.

## ÍNDICE

DEDICATORIA

AGRADECIMIENTO

RESUMEN

ABSTRACT

INTRODUCCIÓN

ÍNDICE

ÍNDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE GRÁFICOS

## CAPÍTULO I

### PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN

1.1.	Identificación y determinación del problema .....	1
1.2.	Delimitación de la investigación .....	2
1.2.1.	Delimitación espacial .....	2
1.2.2.	Delimitación teórica .....	2
1.2.3.	Delimitación temporal .....	2
1.3.	Formulación del problema.....	2
1.3.1.	Problema general .....	2
1.3.2.	Problemas específicos .....	3
1.4.	Formulación de objetivos .....	3
1.4.1.	Objetivo General .....	3
1.4.2.	Objetivos específicos .....	3
1.5.	Justificación de la investigación.....	4
1.5.1.	Justificación teórica .....	4
1.5.2.	Justificación práctica .....	5

1.6.	Limitaciones de la investigación .....	5
------	--	---

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

2.1.	Antecedentes de estudio .....	6
2.2.	Bases teóricas – científicas .....	8
2.2.1.	Minerales polimetálicos.....	8
2.2.2.	Propiedades físicas de los minerales .....	9
2.2.3.	Propiedades químicas de los minerales .....	10
2.2.4.	Importancia de la molienda en flotación por espumas .....	12
2.2.5.	Teoria de flotación de espumas .....	13
2.2.6.	Reactivos empleados en flotación de espumas.....	15
2.2.7.	Cinética de flotación de espumas .....	16
2.2.8.	Importancia del pH en flotación por espumas .....	17
2.2.9.	Problemas y desafíos en la flotación por espumas .....	18
2.3.	Definición de términos básicos .....	19
2.4.	Formulación de hipótesis.....	21
2.4.1.	Hipótesis general .....	21
2.4.2.	Hipótesis específicas .....	21
2.5.	Identificación de variables.....	22
2.6.	Definición operacional de variables e indicadores .....	22

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN**

3.1.	Tipo de investigación .....	23
3.2.	Nivel de investigación .....	24
3.3.	Métodos de investigación .....	24

3.4.	Diseño de investigación.....	24
3.5.	Población y muestra .....	24
3.5.1.	Población .....	24
3.5.2.	Muestra .....	25
3.6.	Técnicas e instrumentos de recolección de datos .....	25
3.7.	Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación.....	26
3.8.	Técnicas de procesamiento y análisis de datos.....	26
3.9.	Tratamiento estadístico.....	27
3.10.	Orientación ética filosófica y epistémica .....	28

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

4.1.	Descripción del trabajo de campo .....	29
4.1.1.	Metodología de trabajo.....	29
4.1.2.	Identificación del mineral .....	31
4.1.3.	Pruebas de moliendabilidad.....	32
4.1.4.	Determinación de work index comparativo .....	34
4.1.5.	Prueba de flotación batch selectiva .....	35
4.1.6.	Cinética de flotación bulk / zinc .....	38
4.2.	Presentación, análisis e interpretación de resultados.....	41
4.2.1.	Regresiones entre elementos químicos.....	43
4.2.2.	Estudio de microscopía óptica.....	46
4.2.3.	Estudio de malla valorada relave final .....	50
4.3.	Prueba de hipótesis .....	51
4.4.	Discusión de resultados .....	52

### **CONCLUSIONES**

RECOMENDACIONES

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

ANEXOS:

## ÍNDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1</b> Operacionalización de variables .....	22
<b>Tabla 2</b> Ensayo químico .....	31
<b>Tabla 3</b> Tiempo de moliendabilidad malla -200.....	33
<b>Tabla 4</b> Clasificación de dureza del mineral .....	34
<b>Tabla 5</b> Condiciones de las pruebas de flotación batch.....	36
<b>Tabla 6</b> Cinética de flotación bulk.....	38
<b>Tabla 7</b> Cinéticas de flotación zinc.....	40
<b>Tabla 8</b> Prueba batch mineral zona horizonte nivel 420 .....	42
<b>Tabla 9</b> Regresiones cinética selectiva circuito bulk.....	43
<b>Tabla 10</b> Regresiones cinética selectiva circuito de zinc. ....	45
<b>Tabla 11</b> Descripción de minerales .....	46
<b>Tabla 12</b> Clasificación del tipo de mineral.....	46
<b>Tabla 13</b> Distribución por mallas del relave final .....	50
<b>Tabla 14</b> Resumen de datos. ....	51

## ÍNDICE DE GRÁFICOS

<b>Gráfico 1</b> Curvas de moliendabilidad.....	33
<b>Gráfico 2</b> Formula de Bond.....	34
<b>Gráfico 3</b> Esquema general de pruebas .....	35
<b>Gráfico 4</b> Cinetica de flotación bulk.....	39
<b>Gráfico 5</b> Índice de selectividad de valores bulk.....	39
<b>Gráfico 6</b> Cinetica de flotaciòn zinc .....	40
<b>Gráfico 7</b> Cinética de valores de zinc .....	41
<b>Gráfico 8</b> Concentrado de Bulk malla +400.....	47
<b>Gráfico 9</b> Concentrado de Bulk malla +400 .....	47
<b>Gráfico 10</b> Concentrado Zn malla +400 .....	48
<b>Gráfico 11</b> Concentrado zinc malla +400.....	48
<b>Gráfico 12</b> Relave Final malla +400 .....	49
<b>Gráfico 13</b> Relave Final malla +400 .....	49
<b>Gráfico 14</b> Cuadro de % de distribución vs mallas .....	50

## **CAPÍTULO I**

### **PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

#### **1.1. Identificación y determinación del problema**

La mina subterránea mecanizada Pan American Silver Huaron se dedica a la producción de concentrados de cobre, plomo y zinc que contienen altos niveles de plata. El yacimiento de la mina es del tipo hidrotermal y presenta una distribución zonal de mineralización. En la zona central, se encuentran sulfuros con cobre de alta temperatura, mientras que en los bordes se localizan mineralizaciones de plomo y zinc con altos niveles de plata.

Sin embargo, para poder explotar y extraer los minerales de la zona mineralizada del yacimiento, es necesario realizar pruebas metalúrgicas para evaluar la recuperación de los metales de interés presentes en el concentrado. En la actualidad, se cuenta con mineral proveniente de la zona horizonte nivel 420 en la estructura Lucero Romel del techo labor Tj-525, el cual se caracteriza por su contenido de zinc, plomo y plata. Sin realizar estas pruebas metalúrgicas, no es posible determinar si la explotación de estos minerales es rentable desde el punto de vista económico.

Por este motivo, se plantea la realización de una investigación con el objetivo de obtener información precisa y valiosa sobre las características de los concentrados provenientes del mineral de estudio. En esta investigación, se buscarán establecer los parámetros de operación y caracterización, como el tiempo de molienda, la dosificación de reactivos, el pH y la cinética de flotación. El objetivo es lograr una recuperación eficiente de los metales valiosos presentes, garantizando así la rentabilidad y sostenibilidad de la explotación de estos minerales.

## **1.2. Delimitación de la investigación**

### **1.2.1. Delimitación espacial**

La empresa minera Pan American Silver Huaron se encuentra ubicada en:

- Distrito : Huallay
- Provincia : Pasco
- Departamento : Pasco

### **1.2.2. Delimitación teórica**

La delimitación teórica será de acuerdo a las variables de investigación como lo son flotación por espumas y recuperación de plomo, zinc y plata.

### **1.2.3. Delimitación temporal**

El proyecto de investigación se llevó en un lapso de periodo de tiempo de 7 meses que se inició el 20 de octubre del 2023 hasta el 23 de abril del 2024

## **1.3. Formulación del problema**

### **1.3.1. Problema general**

¿Cuál es el efecto de la flotación por espumas en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023? delimitarlo en espacio y tiempo, identificar variables (causas,consecuencias) y formularlo como una pregunta clara y específica que sea empírica y contrastable,

En esta investigación, se buscarán establecer los parámetros de operación

y caracterización, como el tiempo de molienda, la dosificación de reactivos, el pH y la cinética de flotación

### **1.3.2. Problemas específicos**

1. ¿Cuál es el impacto del tiempo de molienda en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?
2. ¿Cuál es el efecto de los reactivos de flotación por espumas en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?
3. ¿Cuál es el efecto del potencial de hidrógeno en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?
4. ¿Cuál es el efecto de la cinética de flotación en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?

## **1.4. Formulación de objetivos**

### **1.4.1. Objetivo general**

Determinar el efecto de la flotación por espumas en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023.

### **1.4.2. Objetivos específicos**

1. Determinar el efecto del tiempo de molienda en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.
2. Determinar el efecto de los reactivos de flotación diferencial proceso físico-químico metalúrgico que separa minerales valiosos de la

ganga, o minerales valiosos entre sí, aprovechando diferencias sutiles en sus propiedades superficiales (hidrofobicidad) en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.

3. Determinar el efecto del potencial de hidrógeno en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023.
4. Determinar el efecto de la cinética de flotación en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023.

## **1.5. Justificación de la investigación**

### **1.5.1. Justificación teórica**

La flotación por espumas es ampliamente utilizada para la recuperación de zinc, plomo y plata debido a sus propiedades físico-químicas. En este proceso, se aprovecha la diferencia de afinidad de los minerales de interés con las burbujas de aire.

El zinc, plomo y plata forman sulfuros metálicos que tienen una mayor flotabilidad en comparación con otros minerales presentes en la mena. Además, estos sulfuros metálicos tienen propiedades hidrofóbicas, lo que significa que repelen el agua y se adhieren fácilmente a las burbujas de aire.

Por lo tanto, determinar el tiempo de molienda para generar una granulometría adecuada, agregar reactivos, pH y cinética de flotación, se forma una espuma que contiene los sulfuros metálicos. Esta espuma se recoge y se separa de los otros minerales, permitiendo así la recuperación eficiente de zinc, plomo y plata.

### **1.5.2. Justificación práctica**

La investigación se desarrolla en el laboratorio químico metalúrgico realizando flotación por espumas, a través de pruebas batch con un set de pruebas y corridas en cual permitirá obtener la información necesaria para determinar el efecto de la dosificación y las condiciones realizando corridas en los diseños experimental para determinar el set de prueba presento una mejor recuperación de plomo, zinc y plata.

### **1.6. Limitaciones de la investigación**

Una limitación teórica de la flotación por espumas para la recuperación de zinc, plomo y plata es la selectividad limitada de los reactivos utilizados en el proceso. Los colectores de flotación utilizados para el zinc, plomo y plata pueden tener una afinidad similar por otros minerales presentes en la mena, lo que puede afectar la eficiencia de separación.

Esto puede resultar en una recuperación deficiente de los metales de interés y una mayor concentración de impurezas en los concentrados.

Asi mismo Se necesitará reducir a la mitad la toma de muestra del mineral de la zona horizonte nivel 420 en la estructura Lucero Romel del techo labor Tj-525 de Pan American Silver Huaron. Esta reducción será crítica debido a varios aspectos como la limitación de recursos, la duración del proyecto, el acceso limitado a los datos y la viabilidad práctica de realizar los análisis del concentrado en el laboratorio químico y determinar las recuperaciones.

## **CAPÍTULO II**

### **MARCO TEÓRICO**

#### **2.1. Antecedentes de estudio**

(Huallpa Antoniete, 2018), En sus tesis intitulado “Concentración por flotación de minerales sulfurados: plata, plomo, cobre, zinc y oro en minerales polimetálicos”, el mineral utilizado en la presente tesis era un compuesto de mineral polimetálico proveniente de diferentes minas ubicadas en la zona de Huaraz-Ancash. Las variedades presentes en este mineral incluían calcopirita ( $\text{CuFeS}_2$ ), galena ( $\text{PbS}$ ) y esfalerita ( $\text{ZnS}$ ), con presencia de oro y plata. El propósito de esta investigación era implementar el proceso de flotación, abarcando las fases de flotación Bulk, flotación Zn y flotación selectiva para la recuperación de Cu-Pb. Durante la fase experimental, se emplearon diversos agentes de flotación específicos para cobre, plomo, plata y zinc. Se estableció un nivel de trituración entre el 60% y 65% -200m. Tras analizar los resultados, se determinó que el nivel óptimo de trituración era del 60% -200m. La obtención del concentrado de zinc se logró mediante la implementación de 2 etapas de limpieza.

Para la separación de Cu-Pb, se utilizó la técnica de deprimir el Pb (PbS) mediante una combinación de bicromato de K, CMC (almidón y fosfato monosódico). Esta estrategia condujo a la obtención de concentrados comerciales de plomo y cobre. Los resultados obtenidos de la modelación matemática, evaluados a través de los factores Split, mostraron una notable concordancia con los datos experimentales del laboratorio. Por consiguiente, se concluye que este enfoque es viable para ser implementado en simulaciones a nivel industrial.

(Benites Laurente & Doloriega Flores, 2019) en su tesis intitulado “Tratamiento de minerales mediante el blending para mejorar la calidad de concentrado de plomo zinc de la minera Toropunto a nivel experimental-2019” el objetivo del estudio fue buscar la calidad y recuperación de plomo, plata y zinc utilizando el método de concentración por flotación. La metodología empleada implicó un enfoque experimental cuantitativo que produjo resultados concretos. El estudio experimental se desarrolló en los laboratorios de Denwood Holdings Perú Metal SAC. Los resultados obtenidos al emplear la técnica de mezcla (blending) en contraste con el tratamiento individual de la chasca revelaron una mejora en la calidad de los concentrados de plomo, plata y zinc. Aunque se observó una mejora en la recuperación de plomo y plata, no se evidenciaron mejoras significativas en la recuperación de zinc.

Además, se encontró que la dosificación de los A3418 y A208 mejoró la recuperación del plomo y la plata, pero no tuvo efectos positivos en la recuperación del zinc. Por otro lado, se observó que, al disminuir la dosificación de los depresores, se mejoró la calidad del concentrado de plomo y zinc, pero no se encontraron mejoras en la calidad del concentrado de zinc en lo que respecta al plomo y la plata.

(Henry, 2018) en su tesis intitulado “Optimización de la Flotación Polimetálica en la planta concentradora Mallay” señala que la optimización de flotación consiste en cuantificar el rendimiento del proceso de flotación mediante el empleo de un modelo adecuado que relacione la recuperación y/o ley de la especie mineral valiosa con las variables controlables del proceso.

En el proceso de flotación, las variables consideradas están interrelacionadas y carecen de independencia entre sí debido a estas interacciones. Por lo tanto, el desafío principal reside en diseñar estrategias efectivas para identificar estas interacciones mediante pruebas experimentales. Antes de implementar mejoras, observó la necesidad de ajustar el tamaño de partícula en la molienda a un 70% de malla -200, seguido por la optimización de la dosificación de reactivos para la recuperación de Pb-Ag. Los resultados del diseño experimental, utilizando un diseño factorial, demostraron que se logra una dosificación de A-242, A-3418 y una granulometría del 70% -200 mallas. En cuanto a la recuperación de Zinc, se destaca la importancia de considerar la dosificación de Z-11 y CuSO<sub>4</sub> junto con la misma granulometría, logrando una recuperación cercana al 91% de Zinc. El análisis de varianza resalta la relevancia de todas las variables y sus interacciones en la optimización del proceso de flotación, donde el equilibrio en los reactivos según los niveles máximos y mínimos resulta fundamental para obtener recuperaciones óptimas.

## **2.2. Bases teóricas – científicas**

### **2.2.1. Minerales polimetálicos**

Los minerales polimetálicos son aquellos que contienen varios metales en su composición. El zinc, el plomo y la plata son tres metales que tienen propiedades similares y a menudo se encuentran juntos en minerales

polimetálicos.

El zinc es un metal dúctil y maleable de color plateado azulado. Es resistente a la corrosión y se utiliza en una amplia gama de aplicaciones, como la fabricación de aleaciones, la galvanización y la producción de pilas. Los minerales polimetálicos que contienen zinc incluyen la esfalerita, la hemimorfita y la franklinita.

El plomo es un metal gris azulado que es denso y resistente a la corrosión. Es utilizado en la fabricación de baterías, soldaduras y protección contra la radiación. Los minerales polimetálicos que contienen plomo incluyen la galena y la cerusita.

La plata es un metal brillante y conductor que es ampliamente utilizado en la joyería, la electrónica y la fotografía. Los minerales polimetálicos que contienen plata incluyen la argentita, la cerargirita y la polibasita.

Estos minerales polimetálicos, como el zinc, el plomo y la plata, se extraen en minas y se procesan para obtener los metales individuales. A menudo se encuentran juntos debido a su similitud química y física. La extracción y procesamiento de estos minerales polimetálicos requiere métodos especializados para separar los diferentes metales y purificarlos.

### **2.2.2. Propiedades físicas de los minerales**

Las propiedades físicas de los minerales polimetálicos de zinc, plomo y plata pueden variar dependiendo de la composición exacta de los minerales específicos, pero en general, presentan algunas características comunes.

1. Dureza: La dureza de estos minerales varía según el mineral específico, pero en general, el zinc tiene una dureza de 2.5 a 3 en la escala de Mohs, el plomo tiene una dureza de 1.5 a 2 en la escala de Mohs, y la plata tiene una dureza

de aproximadamente 2.5 en la escala de Mohs.

2. Color: El zinc puede presentar una amplia gama de colores, desde blanco plateado hasta gris azulado o amarillo. El plomo generalmente es de color gris oscuro, mientras que la plata es conocida por su brillo plateado característico.
3. Brillo: El zinc y la plata tienen un brillo metálico característico, mientras que el plomo puede tener un brillo metálico o mate dependiendo de su estado de oxidación.
4. Peso específico: El zinc tiene un peso específico de aproximadamente 7.1 g/cm<sup>3</sup>, el plomo tiene un peso específico de aproximadamente 11.3 g/cm<sup>3</sup> y la plata tiene un peso específico de aproximadamente 10.5 g/cm<sup>3</sup>.
5. Punto de fusión: El zinc tiene un punto de fusión de aproximadamente 419°C, el plomo tiene un punto de fusión de aproximadamente 327°C, y la plata tiene un punto de fusión de aproximadamente 961°C.
6. Conductividad eléctrica y térmica: El zinc y la plata son buenos conductores de electricidad y calor, mientras que el plomo es un conductor relativamente pobre.

Estas son solo algunas de las propiedades físicas comunes de los minerales polimetálicos de zinc, plomo y plata. Es importante tener en cuenta que cada mineral puede tener propiedades ligeramente diferentes y que la presencia de otros metales y minerales en la estructura del mineral también puede influir en sus propiedades físicas.

### **2.2.3. Propiedades químicas de los minerales**

Los minerales polimetálicos zinc, plomo y plata son conocidos por su importancia económica debido a los metales que contienen. A continuación, se

presentan algunas de las propiedades químicas de estos minerales:

1. Zinc (Zn):

- Es un metal blanco azulado, con una alta resistencia a la corrosión.
- Es fácilmente maleable y dúctil, lo que lo hace útil para la fabricación de láminas y alambres.
- Tiene una baja reactividad química, lo que lo hace resistente a la oxidación y a la formación de corrosión.
- Es soluble en ácidos, lo que permite su extracción mediante procesos de lixiviación.

2. Plomo (Pb):

- Es un metal pesado, de color gris azulado.
- Tiene baja resistencia a la corrosión, por lo que se deben tomar precauciones para evitar la exposición a ambientes corrosivos.
- Es maleable y dúctil, lo que lo hace útil para la fabricación de láminas y tuberías.
- Es soluble en ácidos, lo que permite su extracción mediante procesos de lixiviación.

3. Plata (Ag):

- Es un metal blanco brillante, altamente reflectante.
- Es maleable y dúctil, lo que lo hace útil para la fabricación de joyería y otros objetos artísticos.
- Tiene una baja reactividad química, lo que lo hace resistente a la oxidación.
- Es soluble en ácidos, lo que permite su extracción mediante procesos de lixiviación.

Estas propiedades químicas de los minerales polimetálicos zinc, plomo y plata son relevantes tanto desde el punto de vista de su extracción y procesamiento como de su uso en diversas industrias.

#### **2.2.4. Importancia de la molienda en flotación por espumas**

La molienda es un proceso crucial en la flotación por espumas, ya que tiene varias funciones clave que son importantes para el éxito del proceso. Estas funciones incluyen:

**Liberación de partículas:** La molienda reduce el tamaño de las partículas minerales, lo que aumenta la superficie de contacto entre las partículas y los reactivos de flotación. Esto mejora la eficiencia de la flotación al permitir una mayor interacción entre las partículas y los reactivos, lo que aumenta las posibilidades de adhesión de las partículas a las burbujas de aire.

**Mejora de la selectividad:** La molienda también ayuda a mejorar la selectividad del proceso de flotación. Al reducir el tamaño de las partículas, se reduce la cantidad de partículas de ganga presentes en la pulpa de flotación. Esto asegura que las partículas minerales valiosas tengan más oportunidades de adherirse a las burbujas de aire y ser recolectadas en el concentrado, mientras que las partículas de ganga se quedan en el relave.

**Control de la granulometría:** La molienda permite controlar el tamaño de las partículas en la pulpa de flotación. Esto es importante porque diferentes especies minerales tienen diferentes requerimientos de tamaño de partícula para ser flotables. Al controlar la granulometría, se puede optimizar la recuperación de las especies minerales valiosas y minimizar la recuperación de las especies de ganga.

**Reducción de la cinética de flotación:** La molienda reduce la cinética de

flotación, lo que significa que el proceso de flotación se vuelve más lento. Esto puede ser beneficioso en ciertos casos, ya que permite la adsorción selectiva de reactivos químicos en la superficie de las partículas minerales. Esto puede mejorar la selectividad y la recuperación de las especies minerales valiosas.

En resumen, la molienda desempeña un papel crucial en la flotación por espumas al mejorar la liberación de partículas, mejorar la selectividad, controlar la granulometría y reducir la cinética de flotación. Estos factores son importantes para lograr una flotación eficiente y mejorar la recuperación de las especies minerales valiosas.

#### **2.2.5. Teoría de flotación de espumas**

La teoría de la flotación de espumas es un proceso utilizado para separar minerales valiosos de otros materiales no deseados. Se basa en la capacidad de ciertos minerales para adherirse a burbujas de aire y flotar en la superficie de una suspensión acuosa. Durante el proceso de flotación, se introduce aire en la suspensión, generando burbujas de aire que se adhieren a las partículas de mineral valioso, llevándolas hacia la superficie.

En el caso de la flotación de minerales de zinc, plomo y plata, se utilizan reactivos químicos para realizar la separación. Estos reactivos pueden ser colectores, que se unen a las partículas de mineral y las hacen adherirse a las burbujas de aire, o modificadores de pH, que controlan el pH de la suspensión para favorecer la adhesión de las partículas a las burbujas.

Los diagramas de Pourbaix son herramientas utilizadas en la química para predecir las especies químicas y las condiciones de pH y potencial electroquímico en los que un elemento se encuentra en equilibrio termodinámico con su entorno. Estos diagramas ayudan a determinar las especies químicas predominantes de un

elemento en diferentes condiciones de pH y potencial.

Para el zinc, el diagrama de Pourbaix muestra las diversas especies químicas formadas por el zinc en función del pH y el potencial electroquímico. El diagrama indica que el zinc tiende a formar óxidos e hidróxidos en condiciones alcalinas, mientras que, en condiciones ácidas, puede formar sulfuros.

El plomo, por otro lado, forma especies químicas como los óxidos, hidróxidos y sulfatos en condiciones alcalinas en su diagrama de Pourbaix. En condiciones ácidas, el plomo puede formar sulfuros y cloruros.

Finalmente, el diagrama de Pourbaix de la plata muestra que este elemento puede formar especies químicas como los óxidos, hidróxidos y sulfuros en condiciones alcalinas. En condiciones ácidas, la plata puede formar cloruros y cianuros.

Estas tres especies químicas pueden influenciar el proceso de flotación de espumas, ya que pueden interactuar con los reactivos utilizados y afectar la adhesión de las partículas minerales a las burbujas de aire. Por lo tanto, el conocimiento de las especies químicas predominantes en diferentes condiciones de pH y potencial es importante para diseñar estratégicamente el proceso de flotación y lograr una separación eficiente de los minerales de zinc, plomo y plata. Es importante destacar que los diagramas de Pourbaix son solo una representación teórica y simplificada de las especies químicas presentes. En la práctica, factores como la presencia de otros minerales y reactivos químicos pueden influir en el equilibrio químico y alterar las especies predominantes.

Por lo tanto, es fundamental realizar estudios experimentales y pruebas para determinar las condiciones óptimas de pH y reactivos para lograr una flotación eficiente de los minerales de zinc, plomo y plata.

## 2.2.6. Reactivos empleados en flotación de espumas

En la flotación de espumas para la recuperación de plomo, zinc y contenidos de plata se utilizan diferentes reactivos químicos. Algunos de los reactivos empleados comúnmente incluyen:

**Colectores:** Los colectores son reactivos químicos que se utilizan para promover la adsorción de los minerales de interés en las burbujas de aire en el proceso de flotación. En el caso de la flotación de plomo y zinc con contenidos de plata, se pueden usar colectores como xantatos, ditionocarbamatos y tiocarbamatos.

**Espumantes:** Los espumantes son agentes químicos que se añaden al sistema de flotación para estabilizar la espuma y mejorar la selectividad de la flotación. En el caso de la flotación de plomo, zinc y contenidos de plata, se pueden utilizar espumantes como alcohol isopropílico, glicoles, alcoholes de cadena larga, entre otros.

**Depresores:** Los depresores son reactivos químicos que se utilizan para inhibir la flotación de minerales no deseados, como pirita u otros sulfuros de hierro, que podrían interferir en la recuperación de los minerales de interés. En el caso de la flotación de plomo, zinc y contenidos de plata, se suelen emplear depresores como cianuro y sulfito de sodio.

**Modificadores de pH:** Los modificadores de pH se utilizan para ajustar el pH del sistema de flotación y optimizar las condiciones de flotabilidad de los minerales de interés. En el caso de la flotación de plomo, zinc y contenidos de plata, se suele emplear cal para elevar el pH y sulfato de cobre para controlar el pH y mejorar la selectividad de la flotación.

Estos son solo algunos de los reactivos más comúnmente utilizados en la

flotación de espumas para la recuperación de plomo, zinc y contenidos de plata. La selección y combinación de reactivos específicos puede variar dependiendo de las características del mineral y las condiciones del proceso de flotación.

#### **2.2.7. Cinética de flotación de espumas**

La cinética de flotación de espumas en la recuperación de zinc, plata y plomo se refiere al estudio de la velocidad a la que tiene lugar el proceso de flotación de minerales en la presencia de espumas.

La flotación de espumas es un proceso de separación de minerales que se basa en las propiedades físico-químicas de las partículas minerales y de las burbujas de aire. En el caso de la recuperación de zinc, plata y plomo, se utilizan reactivos químicos como colectores y espumantes para promover la adhesión de los minerales de interés a las burbujas de aire y la formación de una espuma en la superficie del agua.

La cinética de flotación de espumas en la recuperación de zinc, plata y plomo se estudia a través de pruebas de tiempo de residencia. Estas pruebas consisten en medir el tiempo que tardan las partículas minerales en alcanzar la superficie del agua y formar una espuma, así como la velocidad de desprendimiento de las burbujas de aire.

La cinética de flotación de espumas puede verse afectada por diversos factores, como la concentración de reactivos químicos, el pH del agua, la granulometría de los minerales y la presencia de otros minerales e impurezas. Estos factores pueden influir en la adhesión de los minerales a las burbujas de aire y en la estabilidad de la espuma formada.

El conocimiento de la cinética de flotación de espumas en la recuperación de zinc, plata y plomo es de suma importancia para optimizar los procesos de

beneficio de minerales y maximizar la recuperación de los metales de interés.

#### **2.2.8. Importancia del pH en flotación por espumas**

El pH es un factor crucial en el proceso de flotación por espumas de zinc, plomo y plata debido a su influencia en la calidad y eficiencia de la separación de minerales.

**Selectividad de los reactivos:** El pH afecta la selectividad de los reactivos utilizados en la flotación. Por ejemplo, en el caso del zinc, un pH ligeramente ácido favorece su flotación selectiva frente a otros minerales presentes en la mena. Para el caso del plomo y la plata, un pH alcalino es necesario para suprimir la flotación de minerales indeseables y concentrar la flotación de estos metales.

**Actividad de los iones:** El pH influye en la actividad de los iones en la solución de pulpa mineral. Esto puede cambiar la adherencia o repulsión entre las partículas minerales y las burbujas de aire, lo que afecta la probabilidad de adhesión y flotación de los minerales de zinc, plomo y plata.

**Estabilidad de los reactivos:** Los reactivos utilizados en la flotación por espumas de zinc, plomo y plata pueden ser sensibles al cambio de pH. Con frecuencia, se requiere un rango de pH específico para mantener la estabilidad de los reactivos y asegurar una buena eficiencia de flotación.

**Precipitación de especies indeseables:** El pH también juega un papel importante en la precipitación de especies no deseadas, como hidróxidos o carbonatos, que pueden interferir con la flotación de los minerales objetivo. Mantener un pH adecuado ayuda a prevenir la formación de estos compuestos y facilita la separación eficiente de los minerales de zinc, plomo y plata.

En resumen, el control y ajuste del pH en el proceso de flotación por

espumas de zinc, plomo y plata es esencial para optimizar la selectividad de los reactivos, la actividad de los iones, la estabilidad de los reactivos y la prevención de precipitación de especies indeseables. Esto garantiza una operación eficiente y rentable de la planta de flotación.

#### **2.2.9. Problemas y desafíos en la flotación por espumas**

La flotación por espumas es un método muy utilizado para recuperar minerales de zinc, plomo y plata. Sin embargo, también presenta una serie de desafíos y problemas que deben ser enfrentados para obtener una recuperación óptima. Algunos de estos desafíos y problemas incluyen:

**Selectividad de los reactivos:** La flotación por espumas requiere el uso de diferentes reactivos químicos para separar los minerales deseados de los minerales no deseados. Es importante encontrar la combinación correcta de reactivos que permita una selectividad adecuada y una recuperación óptima de los minerales de interés.

**Contaminación cruzada de minerales:** Durante el proceso de flotación, existe el riesgo de contaminación cruzada de minerales. Esto significa que los minerales de zinc, plomo y plata pueden quedar contaminados con otros minerales presentes en la mena. Esto puede afectar la calidad del concentrado final y reducir la eficiencia del proceso de flotación.

**Problemas de dispersión de espuma:** La formación y estabilidad de la espuma es esencial para el proceso de flotación por espumas. Sin embargo, pueden surgir problemas de dispersión de espuma, lo que dificulta la separación de los minerales deseados de los minerales no deseados. Esto puede ser causado por varios factores, como la presencia de impurezas en el agua de proceso o la concentración incorrecta de reactivos de flotación.

**Recuperación incompleta de minerales:** A pesar de todos los esfuerzos para optimizar el proceso de flotación por espumas, puede haber casos en los que la recuperación de los minerales de zinc, plomo y plata sea incompleta. Esto puede estar relacionado con problemas de selectividad de los reactivos, baja recuperación de partículas finas o problemas operativos dentro de la planta de flotación.

**Sostenibilidad y medio ambiente:** La flotación por espumas es un proceso intensivo en el uso de agua y reactivos químicos. Esto puede tener un impacto negativo en el medio ambiente si no se gestionan adecuadamente. Es importante implementar tecnologías y prácticas sostenibles para reducir el consumo de agua, reciclar los reactivos y minimizar la generación de residuos.

Estos son algunos de los desafíos y problemas que se pueden encontrar en la flotación por espumas para recuperar zinc, plomo y plata. Es importante abordar estos problemas con soluciones técnicas y operativas adecuadas para garantizar una recuperación óptima de los minerales de interés.

### 2.3. Definición de términos básicos

**Pulpa de mineral:** La pulpa de mineral es una mezcla de agua y partículas finas de mineral que se utiliza en el proceso de flotación para separar los minerales valiosos de los materiales no deseados. Esta pulpa se obtiene al moler el mineral en un molino y se utiliza como medio de transporte de las partículas durante el proceso de separación.

**Celda de flotación:** Una celda de flotación es un equipo utilizado en el proceso de flotación de minerales. Consiste en un tanque donde se introduce la pulpa de mineral junto con reactivos químicos y aire. El aire genera burbujas que se adhieren a las partículas de mineral, permitiendo su separación y posterior recolección. Es utilizada en la industria minera para obtener concentrados de

minerales.

**Concentrado de zinc:** El concentrado de zinc obtenido de flotación por espumas es un producto mineral obtenido a través del proceso de flotación utilizado en la industria minera para la explotación del mineral de zinc.

**Concentrado de plomo:** El concentrado de plomo obtenido de flotación por espumas es un producto resultante de un proceso de separación de minerales en el cual se utiliza espuma de aire para separar los minerales de plomo de otros minerales presentes en la mena.

**Concentrado de plata:** El concentrado de plata hace referencia a un producto minero obtenido a través del procesamiento de minerales de plata. Este material se encuentra en forma de polvo o partículas y contiene una alta concentración de plata, junto con concentrados de plomo o zinc de acuerdo al mineral tratado.

**Relave:** El relave de flotación de minerales polimetálicas es un material residual que se genera como resultado del proceso de separación de minerales en una planta de procesamiento minero.

**pH de la pulpa:** El pH de la pulpa de flotación de minerales se refiere al nivel de acidez o alcalinidad de la mezcla de agua y partículas minerales que se utiliza en el proceso de separación de minerales en la industria minera.

**Eficiencia de flotación:** La eficiencia de flotación es una medida de la capacidad de un proceso de flotación para separar eficientemente los minerales valiosos de los minerales no valiosos en una mezcla de pulpa mineral, una alta eficiencia de flotación indica que se ha logrado una buena separación de los minerales valiosos, lo que se traduce en una alta recuperación y un concentrado de alta.

**Cinética de flotación:** La dinámica de flotación se refiere a la investigación sobre la velocidad a la que las reacciones químicas y físicas se producen durante el proceso de flotación de minerales. Este campo de estudio se enfoca en la concentración de reactivos, el tamaño de las partículas y las propiedades superficiales.

**Peachímetro:** El Peachímetro es un dispositivo diseñado específicamente para medir el pH de las soluciones utilizadas en los procesos de flotación de minerales. Consiste en un electrodo sensible al pH, que se sumerge en la solución, y un sistema de lectura que muestra el valor del pH de manera precisa.

## 2.4. Formulación de hipótesis

### 2.4.1. Hipótesis general

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la flotación por espumas influye significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.

### 2.4.2. Hipótesis específicas

Realizando el proceso de neutralización con lechada de cal en aguas acidadas de mina se determinará el pH para el cumplimiento del DS N° 010-2010 MINAM de una empresa minera, Lima - 2023.s Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el tiempo de molienda estudiada influyen significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que los reactivos de la flotación por espumas estudiada influyen significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el potencial de

hidrógeno influye significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.

Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la cinética de flotación estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.

## 2.5. Identificación de variables

**Variables independientes:** Flotación por espumas

**Variables dependientes:** Recuperación Metalúrgica

## 2.6. Definición operacional de variables e indicadores

*Tabla 1 Operacionalización de variables*

Variables	Definición	Dimensiones	Indicadores
Variable Independiente			
Flotación por Espumas	La flotación por espumas es un proceso de separación de minerales que utiliza burbujas de aire para llevar a cabo la extracción selectiva de los minerales valiosos de los minerales de ganga. Las partículas hidrofóbicas se adhieren a las burbujas y flotan en la superficie mientras las partículas hidrofílicas permanecen en el fondo. Empleando reactivos de flotación, teniendo en cuenta la granulometría del tiempo de molienda del mineral, el pH y cinética de flotación.	Tiempo de Molienda	minutos
		Reactivos de Flotación	Dosificación de colector
			Dosificación de espumantes
			Dosificación de reactivos modificadores
		pH	Potencial de Hidrógeno
		Cinética de Flotación	Tiempo / Recuperación
Variable dependiente			
Recuperación Metalúrgica	Razón entre la masa del material útil obtenido en el concentrado y la masa de material útil contenido en la alimentación, y se expresa como: Dónde: C = Peso del concentrado. c = Ley del mineral útil en el concentrado.	Recuperación Metalúrgica: $R = \frac{C}{F} \times 100$	C = peso del concentrado
			c = ley del mineral en el concentrado
			F = peso de la alimentación
			f = ley de mineral en la alimentación

*Fuente: Elaboración Propia*

## **CAPÍTULO III**

### **METODOLOGÍA Y TECNICAS DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1. Tipo de investigación**

El proyecto de investigación presenta una modalidad de investigación aplicada tecnológica en la que se utiliza el conocimiento científico y tecnológico para ofrecer soluciones prácticas a problemas específicos en el ámbito tecnológico.

(Peñuelas, 2010) sostiene que esta forma de investigación tiene como objetivo el desarrollo de nuevos conocimientos y su aplicación en la creación de productos, procesos o servicios tecnológicos. Su propósito es resolver problemas y satisfacer necesidades prácticas mediante el uso de tecnología y la implementación de métodos científicos.

Además, en la investigación aplicada tecnológica se busca que los resultados obtenidos puedan ser aplicados en la práctica y contribuyan al mejoramiento de la calidad de vida de las personas, así como al desarrollo de la industria y la sociedad en general. Para lograr esto, se utiliza un enfoque práctico y orientado a la resolución de problemas concretos, teniendo en cuenta las necesidades y demandas del mercado y de la sociedad.

### **3.2. Nivel de investigación**

El nivel de la investigación fue de tipo experimental, y para lo cual se realizaron diferentes pruebas batch de flotación y demás elementos que intervinieron en la recuperación de concentrados de plomo plata y zinc.

### **3.3. Métodos de investigación**

En la presente investigación como se menciono tuvo por método el Cuantitativo de tipo experimental ya que el punto de partida es la hipótesis propuesta y que mediante pruebas de flotación y el uso de herramientas estadísticas y matemáticas tratamos de probar con el propósito de cuantificar nuestro problema.

### **3.4. Diseño de investigación**

El proyecto se basa en un diseño de investigación experimental, el cual se utiliza para establecer una relación de causa y efecto entre variables. Se trata de un enfoque sistemático en el que se manipulan una o más variables independientes con el objetivo de determinar su impacto en la variable dependiente.

Además, el diseño de investigación experimental implica la aleatorización de los participantes o muestras en los diferentes grupos, con el fin de asegurar que cualquier diferencia encontrada entre los grupos se deba únicamente a la manipulación de la variable independiente y no a otros factores.

### **3.5. Población y muestra**

#### **3.5.1. Población**

(Hernandes Sampieri, Fernandez Collado , & Baptista Lucio, 1997) a población se refiere al conjunto completo de individuos, elementos, objetos o eventos que comparten una característica o cualidad en común bajo estudio. La población puede ser finita o infinita, dependiendo de si se encuentran todos los

elementos dentro del alcance del estudio o no. En el proyecto a desarrollar la población estará conformada por el mineral de la zona horizonte nivel 420 en la estructura Lucero Romel del techo labor Tj-525, de la empresa Pan American Silver Huaron S.A.

### **3.5.2. Muestra**

(Hernandes Sampieri, Fernandez Collado , & Baptista Lucio, 1997), la muestra es un subconjunto representativo seleccionado de la población total, que se utiliza para obtener información y realizar inferencias sobre la población en su conjunto. La muestra debe ser seleccionada de forma aleatoria, utilizando métodos estadísticos adecuados, para asegurar que sea representativa y generalizable a la población., con esta definición la muestra estará constituida por 50 kilogramos de la población.

## **3.6. Técnicas e instrumentos de recolección de datos**

El proyecto de investigación se enfoca en realizar pruebas de laboratorio para analizar la composición y estructura de los minerales, así como estudiar el proceso de flotación. Para llevar a cabo estas pruebas, se utilizarán diferentes equipos de medición y herramientas de laboratorio, como recipientes de cristal, buretas, pipetas, tamices, reactores de flotación, agitadores, calentadores y balanzas de precisión.

En la parte práctica del estudio, se realizarán pruebas de flotación siguiendo diferentes pasos, como la preparación de la muestra de mineral, la adición de reactivos, la agitación de la suspensión mineral en el reactor de flotación, la generación de espuma y la separación de los minerales flotados. Durante estas pruebas, se medirán parámetros como la concentración de zinc, cobre y plomo con altos contenidos de plata en la muestra antes y después del proceso de flotación, así

como la recuperación de estos metales en la fracción flotada. También se analizará la cinética de flotación para entender cómo cambia la recuperación de los metales a lo largo del tiempo durante el proceso.

En resumen, este proyecto de investigación utilizará tecnología de medición y equipos de laboratorio para llevar a cabo pruebas de flotación y analizar la dosificación de los espumantes y su efecto en la recuperación de los metales. Se estudiará la ley del mineral, la recuperación de los metales y se analizará la cinética de flotación. Todo esto se realizará en la empresa minera Pan American Silver Huaron, ubicada en el distrito de Huallay, departamento y provincia de Pasco.

### **3.7. Selección, validación y confiabilidad de los instrumentos de investigación**

Las pruebas metalúrgicas se llevaron a cabo en los laboratorios de la empresa minera Pan American Silver Huaron, situada en el distrito de Huallay, en el departamento y provincia de Pasco. Durante este proceso, las muestras fueron manipuladas con meticulosidad para garantizar la precisión de los datos y cálculos obtenidos en el marco de esta investigación. Es importante destacar que los equipos empleados en estas pruebas contaron con certificaciones de calidad otorgadas por los proveedores correspondientes, asegurando así la fiabilidad y exactitud de los resultados obtenidos.

### **3.8. Técnicas de procesamiento y análisis de datos**

Aplicaremos nuestros conocimientos teóricos y prácticos para examinar y procesar la información recopilada de las pruebas metalúrgicas, analizando diversas situaciones, circunstancias y cantidades. Este análisis nos ayudará a identificar los elementos que influyen en la eficacia de la recuperación, al modificar la variable controlada y evaluar su impacto en la variable dependiente. Para agilizar

estos procesos, haremos uso de hojas de cálculo y programas de estadística.

### **3.9. Tratamiento estadístico**

En la realización de análisis estadísticos, es fundamental utilizar modelos tabulares y gráficos para procesar los datos de una manera efectiva. Además, contar con software especializado como Minitab 19 y Ms-Excel 2020 resulta ser de gran ayuda. Sin embargo, es importante señalar que el simple uso de estas herramientas no garantiza la calidad de los análisis realizados.

En este sentido, el uso de medidas de tendencia central y dispersión como la media, mediana, moda, varianza, desviación estándar y coeficiente de variación es esencial para resumir y analizar la distribución de datos en el conjunto de información. Estas medidas brindan una idea general de cómo se distribuyen los datos y permiten identificar valores atípicos o extremos. Sin embargo, es fundamental recordar que estas medidas solo proporcionan una visión limitada de los datos y pueden resultar engañosas cuando se utilizan de manera aislada.

Además, se menciona el uso del coeficiente de correlación y las pruebas de T-Student como herramientas para probar hipótesis de investigación y determinar la fuerza y relevancia de las relaciones encontradas. Estas herramientas son comúnmente utilizadas en estudios de investigación para evaluar la relación entre variables y obtener conclusiones estadísticas. Sin embargo, es necesario tener en cuenta que estas herramientas tienen ciertas limitaciones y no pueden proporcionar una conclusión definitiva sobre la existencia o dirección de una relación.

En resumen, si bien utilizar modelos tabulares, gráficos y software especializado es esencial en el análisis estadístico, es crucial recordar que el análisis de datos va más allá de simplemente aplicar fórmulas y utilizar programas. Es

necesario tener un enfoque crítico y comprender las limitaciones de las herramientas utilizadas. La interpretación de los resultados obtenidos y la realización de conclusiones estadísticas requieren de un análisis cuidadoso y riguroso.

### **3.10. Orientación ética filosófica y epistémica**

La investigación científica debe cumplir con principios éticos para proteger a los participantes y garantizar su bienestar. Sin embargo, en la realidad estos principios no siempre se siguen adecuadamente.

Es esencial obtener el consentimiento informado de los participantes, pero en ocasiones los investigadores pueden influir en las decisiones al proporcionar información sesgada o insuficiente. Además, se han reportado casos de filtración o mal uso de información confidencial, lo que cuestiona la efectividad de las medidas de protección implementadas.

La evaluación de riesgos y beneficios también es fundamental, pero a veces los investigadores subestiman o ignoran los riesgos involucrados en búsqueda de resultados específicos.

La honestidad y transparencia son cruciales para la confiabilidad de los resultados, pero ha habido casos de manipulación de datos con fines personales o institucionales.

## **CAPÍTULO IV**

### **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

#### **4.1. Descripción del trabajo de campo**

##### **4.1.1. Metodología de trabajo**

- La muestra fue entregada por el área de geología con su respectivo memorando.
- Se procede con el secado y chancado de muestra a 100% malla -6 ASTM.
- A continuación, se realiza el homogenizado y cuarteo de la muestra para realizar los ensayos químicos el cual representará como ley de cabeza (Ag, Cu, Pb, Zn, Fe, As, Sb, Mn, Bi, PbOx y ZnOx).
- Validación de las leyes de cabeza, para proseguir con la evaluación metalúrgica.
- Evaluación del Índice de Trabajo comparativo, tiempos cero y diez minutos tanto para el Mineral como para el Cuarzo.
- Establecimiento del tiempo de molienda necesario para lograr un 55% en malla -200 ASTM en los circuitos bulk y rougher Zn I, con

pruebas realizadas a intervalos de cero, 10, 15 y 20 minutos; seguido de una remolienda del relave rougher Zn I para alcanzar un 60% en malla -200 ASTM utilizando bolas de acero de 1.5”.

- Análisis de la distribución granulométrica del mineral chancado a malla -6 en el tiempo cero, con el objetivo de determinar la variación en las leyes a través de las diferentes mallas y para perfilar la granulometría de la muestra.
- En seguida se procede a calibrar el potenciómetro para la medición del pH.
- Se prepara los reactivos a diferentes concentraciones manteniendo el estándar de planta concentradora.
- Etapa de cinética de flotación, se trabaja con un kilo de muestra, se trabaja en celda de 2 litros con un kilo de muestra para determinar la tendencia del comportamiento metalúrgico, con tiempos de 0.25, 0.5, 1.0, 2.0, 3.0 y 5.0 minutos tanto para la flotación Bulk como para la flotación Zinc.
- Obtenidos los productos de flotación secos estos son enviados para sus ensayos químicos a laboratorio químico y preparar el balance de cinética de flotación.
- Del relave de la prueba de cinética de flotación se realiza el análisis de malla valorado para determinar asociaciones mineralógicas y determinar la recuperación por mallas en el relave.
- Se realiza nueva prueba de cinética de flotación para la preparación de las briquetas de los concentrados bulk, zinc y relave, de acuerdo con la ley de cabeza se hace una o dos limpiezas, se prepara las

briquetas para determinar por microscopia óptica presencia de minerales mixtos, inclusiones, asociaciones y libres.

- Posteriormente, se lleva a cabo la prueba de flotación en Batch utilizando una celda de 4.1 litros, con dos kilogramos de muestra y un contenido de sólidos -del 32.5%, empleando los reactivos estándar según las dosificaciones del proceso.
- Una vez obtenidos los productos de flotación secos, se remiten para su análisis correspondiente en el laboratorio químico. Con los resultados de estos análisis químicos, se elabora el balance metalúrgico batch proyectado.

#### 4.1.2. Identificación del mineral

Los resultados del ensayo químico se muestran a continuación:

**Tabla 2** *Ensayo químico*

Ag(GR/TON)	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	%As	%Sb	%Mn	%Bi	%PbO	%ZnO
91.53	0.04	0.72	1.51	7.31	3.70	0.03	2.84	0.00	0.07	0.05
%Ox Pb	10.12	Wi=	12.48	Kw-h/TM						
%Ox Zn	3.30									

Del cuadro anterior se describe los siguientes comentarios con respecto a la ley de cabeza:

- El contenido de los valores de plata es 91.53 gr/ton, valor por debajo del rango habitual con respecto al budget anual de 152.40 gr/Tn, se puede considerar baja ley de cabeza con respecto a nuestro proceso podría perjudicar el desplazamiento.
- El contenido de los valores de cobre es 0.04%, valor por debajo del rango habitual con respecto al budget de 0.36%.
- El contenido de los valores de plomo es 0.72%, valor por debajo del rango habitual con respecto al Budget anual de 1.52%.

- El 10.12% del plomo ensayado se presenta en forma de óxidos valor considerable alto para la ley de cabeza que presenta.
- El contenido de los valores de zinc es 1.51%, valor por debajo del rango habitual con respecto al Budget anual de 2.38%. El 3.30% del zinc ensayado se presenta en forma de óxidos valor considerable moderado con respecto a la ley de cabeza y considerable con respecto a nuestro proceso.
- El contenido de hierro es 7.31% valor considerable bajo con respecto a nuestro proceso lo cual no afectaría la calidad de los concentrados.
- El contenido de los valores de contaminantes arsénico (3.70%) y manganeso (2.84%) este valor se encuentra por encima de los rangos habituales, lo cual podría perjudicar el performance metalúrgico.

#### **4.1.3. Pruebas de moliendabilidad**

Las pruebas de trituración se llevaron a cabo utilizando 1000 gramos y 500 cc de agua, lo que resultó en una suspensión con un 67% de sólidos. Luego, se efectuó el análisis de tamaño de partículas correspondiente para establecer el nivel de trituración a un 55% en malla -200.

Se realizan 4 pruebas a diferentes tiempos de molienda (0, 10,15 y 20 minutos) para el circuito bulk y rougher Zn I; se realiza una remolienda al relave rougher Zn I para alcanzar 60% malla -200 ASTM con bolas de acero 1.5” pruebas batch y en cuanto para la cinética el corte de malla -200 es de 55%.

Se llegó a trabajar la muestra en un molino de 8.58”x11.22” presentando como carga moliturante bolas de acero es de 20,000.00 gr.

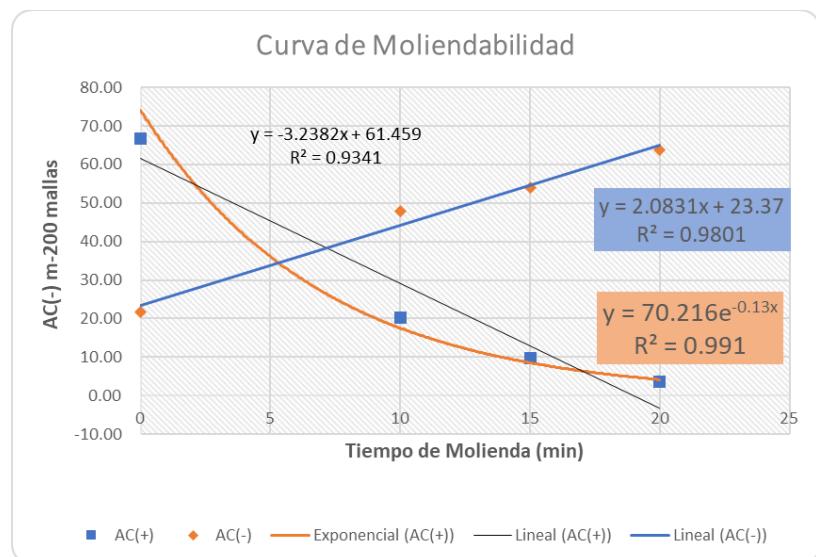
Los resultados de los cuatro tiempos para estimar el tiempo de molienda óptimo, se presentan en la siguiente tabla

**Tabla 3 Tiempo de moliendabilidad malla -200**

TIEMPO DE MOLIENDA	m-200	m+65
	AC(-)	AC(+)
0	21.68	66.68
10	47.96	20.20
15	53.86	9.76
20	63.72	3.48
<b>15.18</b>	<b>55</b>	<b>12.29</b>
<b>55% m-200 mallas = 15.18 minutos</b>		

Las curvas de moliendabilidad se mostrarán a continuación en el siguiente gráfico:

**Gráfico 1 Curvas de moliendabilidad**



Los datos de Moliendabilidad se determina la ecuación de regresión de datos de tiempo vs. pasante (-m200), en el cual se obtiene la siguiente relación lineal:

$$Y = 2.0831X + 23.37$$

Se obtiene que el tiempo de molienda óptimo es de **15.18 min** para alcanzar una malla de corte de 55% -m200, lo cual representa el tiempo para iniciar el proceso de flotación bulk y rougher Zn I; incrementando 10 min de remolienda al relave de Rougher Zn I se llega a una malla de corte 60% en pruebas batch.

#### 4.1.4. Determinación de work index comparativo

Para evaluar la dureza del mineral o su Índice de Trabajo, se empleó el método comparativo con cuarzo, que posee un Índice de Trabajo de 13.6 kWh/t. Se determinó el tamaño de alimentación promedio F80 para este mineral (basado en la muestra 100% pasante por la malla 6 ASTM) y el tamaño del producto P80 después de la molienda, utilizando un tiempo de molienda de 10 minutos para ambas muestras (Cuarzo y Mineral de la Zona Horizonte, Nivel 420, Estructura Lucero, Ramal Techo Labor TJ-525). A continuación, se presentan los resultados del análisis granulométrico obtenidos.

F80 cuarzo = 1453 micrones (100% malla -6) P80 cuarzo = 262 micrones

F80 mineral = 1505 micrones (100% malla -6) P80 mineral = 213 micrones

La ecuación de Bond de consumo de energía en reducción de tamaño de minerales es la siguiente:

*Gráfico 2 Formula de Bond*

$$13.6 \left( \frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{ cuarzo}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{ cuarzo}}} \right) = Wi \left( \frac{10}{\sqrt{P_{80} \text{ mineral}}} - \frac{10}{\sqrt{F_{80} \text{ mineral}}} \right)$$

Esta fórmula para el método comparativo incluye el valor de 13.6 (dureza de cuarzo), aplicando la formula se determinó la dureza o Índice de Trabajo **Wi=11.38 Kw-h/TC o 12.48 KW-h/TM**, el cual será el indicador del índice de dureza del mineral, cuyo valor lo clasifica como mineral de dureza media.

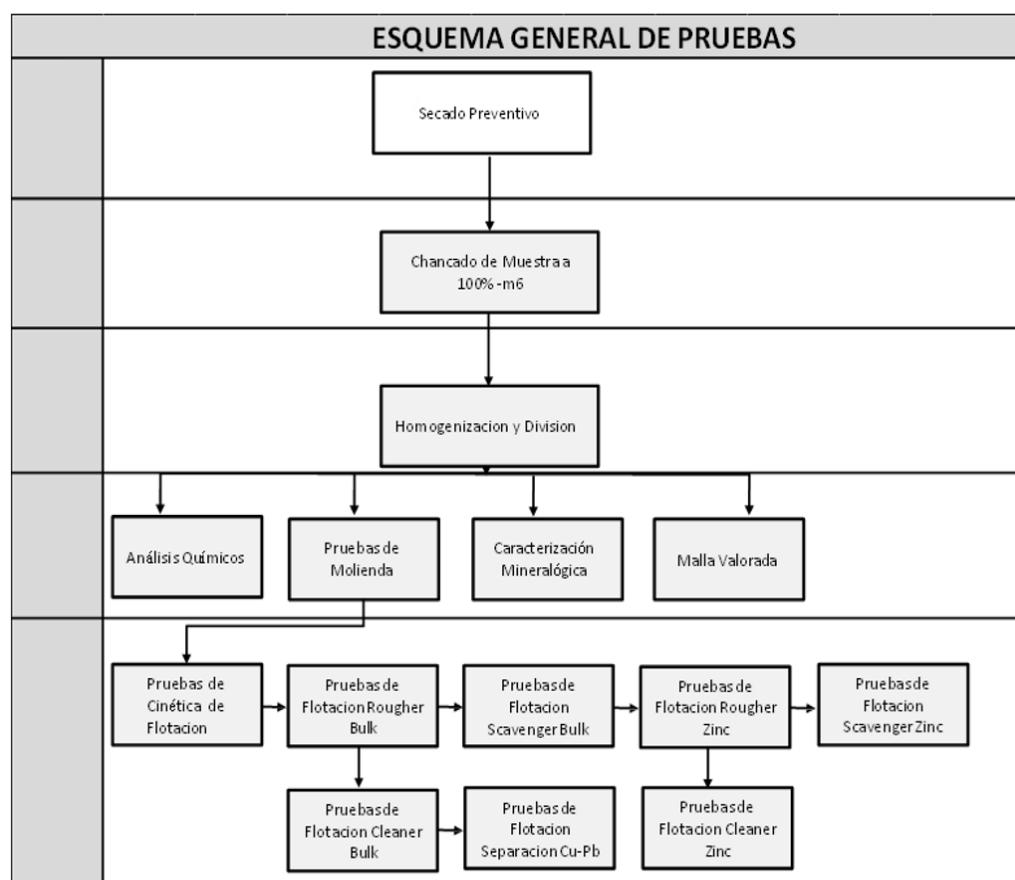
*Tabla 4 Clasificación de dureza del mineral*

DESCRIPCION	LIMITE Wi (kWh / tm)
Muy blando	7.26
Blando	7,26 - 10,89
Medio	10,89 - 14,51
Duro	14,51 - 18,14
Muy Duro	18,14 - 21,77
Extremadamente duro	21.77

#### 4.1.5. Prueba de flotación batch selectiva

El procedimiento de flotación batch selectiva permite la obtención de los concentrados de los valores contenidos en el mineral que para este caso permitió la obtención de los concentrados de cobre, plomo y zinc, para el balance metalúrgico se considera la recuperación total a la sumatoria de recuperaciones de plata en los concentrados obtenido en periodo de tiempos de flotación estándares.

*Gráfico 3 Esquema general de pruebas*



Las condiciones de flotación para la prueba de flotación batch se muestra a continuación:

**Tabla 5** *Condiciones de las pruebas de flotación batch*

Reactivos gr/ton												
Nombre:	Tiempo (min)	pH	NaCN	Z-11/Z-6	Cal	CuSo4	H-150	Carbón	RCS	ZnSO4	Bisulfito	
molienda	15.18	8.4								200		
Ro-Bk	3		30	13			25					
Scv-Bk	2			3								
1° Cl Bk	2		5									
2° Cl Bk	2											
3° Cl Bk	2											
Ac Zn 1°	3	10.9			600							
Ac Zn 2°	2				300	175						
Ro Zn	3			10			12					
Scv-Zn	2			8		25						
1° Cl Zn	2	11.5			400							
2° Cl Zn	2	11.5			300							
3° Cl Zn	2	11.5			300							
Total de reactivos en gr/ton			35	33	1900	200	37	0	0	200	0	

Molienda:

- ✓ Peso de mineral : 1 Kg
- ✓ Agua : 500 CC
- ✓ Tiempo de molienda : 15.18 minutos
- ✓ Cianuro de sodio : 30 gr/Tn
- ✓ Granulometría : 55% -200 mallas

Flotación Rougher Bulk:

- ✓ pH de flotación : 8.40
- ✓ sulfato de zinc : 200 gr/Tn
- ✓ Z-11/Z-6 : 13 gr/Tn
- ✓ Espumante H-150 : 25 gr/Tn
- ✓ Tiempo Acond : 2 minutos
- ✓ Flotación : 3 minutos Flotación scavenger bulk:
- ✓ Z-11/Z-6 : 3 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos Flotación Cleaner bulk I:
- ✓ Cianuro de sodio : 5 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación : 3 minutos

Flotación Cleaner bulk II:

- ✓ Tiempo de flotación : 3 minutos Flotación Cleaner bulk III:
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos Flotación Rougher Zinc:
- ✓ Cal : 900 gr/Tn
- ✓ pH de flotación : 10.90
- ✓ sulfato de Cobre : 175 gr/Tn
- ✓ Z-11/Z-6 : 10 gr/Tn
- ✓ Espumante H-150 : 12 gr/Tn
- ✓ Tiempo Acond : 5 minutos
- ✓ Flotación : 3 minutos Flotación scavenger zinc:
- ✓ sulfato de Cobre : 25 gr/Tn
- ✓ Z-11/Z-6 : 8 gr/Tn
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos Flotación Cleaner zinc I:
- ✓ Cal : 400 gr/Tn
- ✓ pH : 11.60
- ✓ Tiempo de flotación : 3 minutos Flotación Cleaner zinc II:
- ✓ Cal : 300 gr/Tn
- ✓ pH : 11.60
- ✓ Tiempo de flotación : 3 minutos Flotación Cleaner zinc III:
- ✓ Cal : 300 gr/Tn
- ✓ pH : 11.60
- ✓ Tiempo de flotación : 2 minutos

De la tabla anterior se comenta lo siguiente con respecto al consumo de reactivos:

- Los tiempos de molienda establecidos para alcanzar los porcentajes de 55% de

malla -200 es de 15.18 minutos valor se podría considerar un valor suave en el desarrollo de pruebas metalúrgicas a nivel de laboratorio.

- Los reactivos CNNa y mezcla de xantatos fueron preparados al 1%, la cal, el sulfato de cobre, sulfato de zinc al 10% y el H-150 al 100%.
- El consumo de cianuro de sodio es de 35 gr/ton, para controlar el proceso de flotación.
- El consumo de cal 1900 gr/ton, este valor se encuentra por debajo de los rangos habituales de 2,500 gr/Tn, debido al pH que presenta mayor a 8.25.
- El consumo de sulfato de cobre 200 gr/ton, este valor se encuentra dentro de los rangos habituales de 194 gr/Tn.

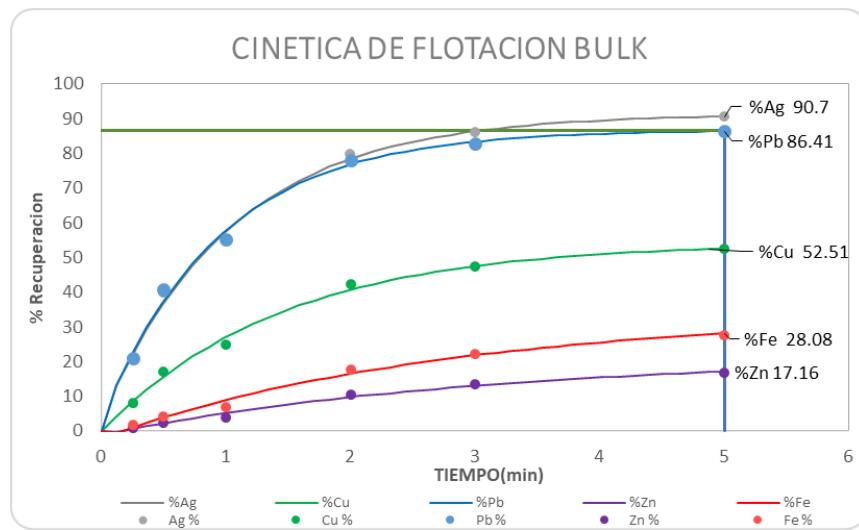
#### 4.1.6. Cinetica de flotación bulk / zinc

En las siguientes tablas se muestran las cinéticas de flotación de los valores de interés del Mineral Zona Horizonte Nivel 420 Estructura Lucero Ramal Techo Labor TJ-525 en las etapas de flotación bulk y zinc con corte de malla -200 mallas 55%:

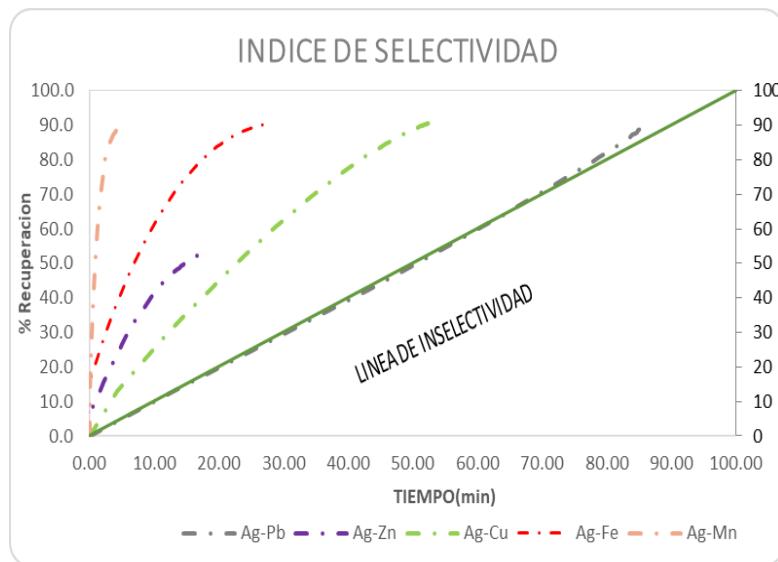
**Tabla 6 Cinetica de flotaciòn bulk**

time	PRODUCTO	%Peso	Ensayos									%Recuperacion								
			Ag gr/ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn%	As%	Sb%	Bi%	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn%	As%	Sb%	Bi%
0.25	Espuma 1 Bk	0.68	2569.14	0.55	20.48	1.87	18.13	0.67	12.50	0.22	0.28	20.95	8.23	21.02	0.99	1.75	0.19	3.64	4.55	9.94
0.5	Espuma 2 Bk	0.90	1731.52	0.45	14.58	1.97	19.07	0.77	12.64	0.19	0.20	18.69	8.81	19.80	1.39	2.44	0.29	4.87	5.01	9.78
1	Espuma 3 Bk	0.88	1462.01	0.41	10.83	2.21	20.34	0.79	13.71	0.18	0.17	15.43	7.91	14.39	1.52	2.55	0.29	5.17	4.85	7.71
2	Espuma 4 Bk	3.76	549.15	0.21	4.05	2.21	20.64	1.12	12.18	0.08	0.07	24.76	17.32	22.99	6.48	11.04	1.77	19.62	9.48	13.64
3	Espuma 5 Bk	1.72	306.15	0.13	1.79	2.22	18.02	1.80	9.32	0.08	0.05	6.31	5.05	4.65	2.98	4.41	1.30	6.87	4.09	4.28
5	Espuma 6 Bk	2.22	164.68	0.10	1.09	2.06	17.47	1.91	8.33	0.05	0.03	4.38	5.08	3.67	3.57	5.52	1.79	7.93	3.17	3.43
	Relave-Bk	89.84	8.80	0.02	0.10	1.18	5.66	2.49	1.35	0.03	0.01	9.48	47.60	13.48	83.07	72.29	94.35	51.91	68.85	51.22
	Cab. Cal.	100.00	83.39	0.05	0.66	1.28	7.03	2.37	2.33	0.03	0.02	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

*Gráfico 4 Cinetica de flotación bulk*



*Gráfico 5 Índice de selectividad de valores bulk*



De los gráficos anteriores muestran los siguientes comentarios:

- La cinética de flotación de los valores de plomo, plata y cobre son los que muestran una mayor velocidad de flotación, estando esta influenciada por la asociación mineralógica que tienen estos valores, se estima una distribución de 90.7% de plomo, 86.41% de plata y 52.51% de cobre para un periodo de flotación acumulado de 5 minutos.
- Las velocidades de flotación de los valores de ZINC muestran una velocidad moderada con respecto a los valores de interés, se estima una activación

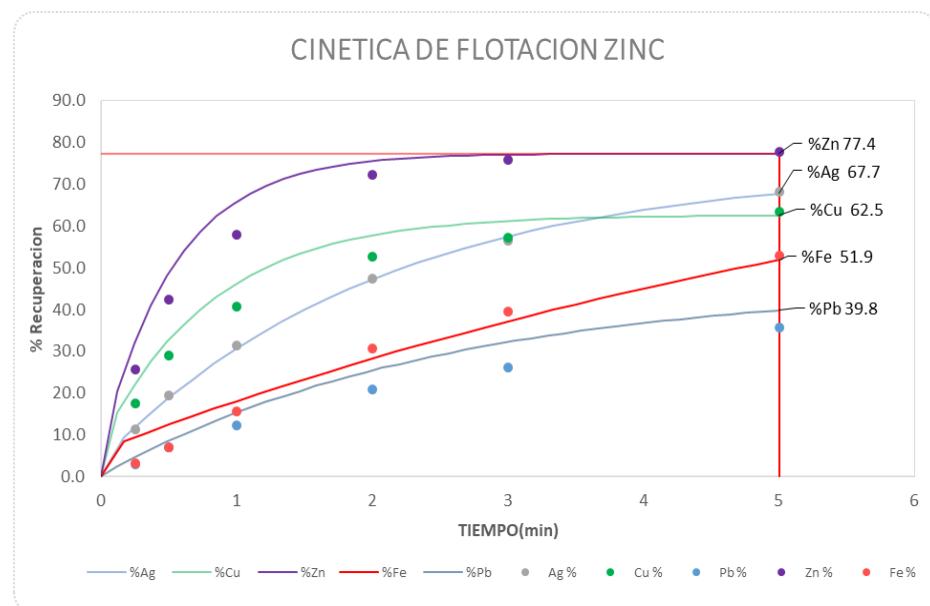
como recuperación de 17.16% para un periodo acumulado de flotación de 5 minutos.

- La velocidad de flotación de los valores de FIERRO se muestra cinética de flotación rápida con activación de 28.08% como recuperación, lo cual podría perjudicar al concentrado bulk.
- La concentración de valores de plomo muestra un índice de enriquecimiento acelerado, el cual se mostrará una recuperación considerable para el proceso con respecto a la ley de cabeza.

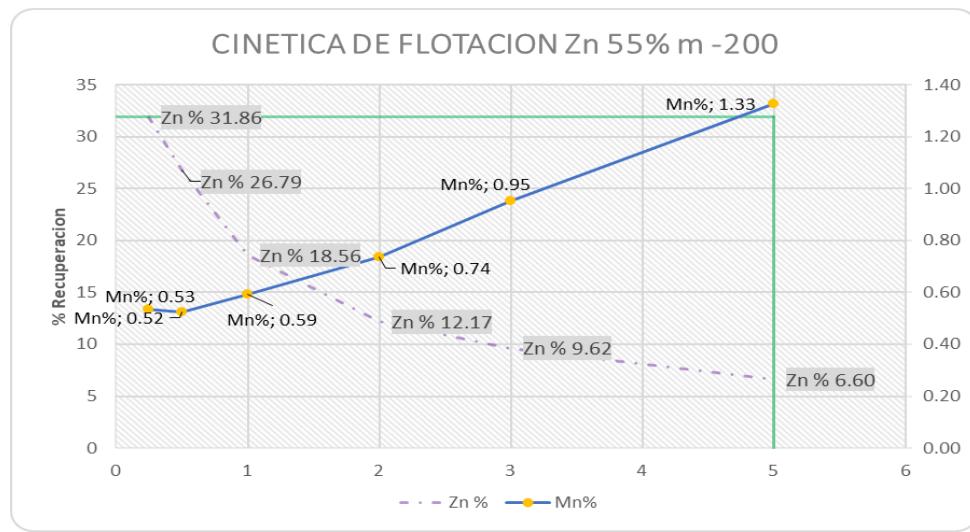
**Tabla 7 Cinéticas de flotación zinc**

time	PRODUCTO	%Peso	Ensajes									% Recuperacion								
			Ag gr/ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn%	As%	Sb%	Bi%	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	Mn%	As%	Sb%	Bi%
0.25	Espuma 1 Zn	0.96	103.39	0.44	0.30	31.86	19.20	0.53	5.77	0.05	0.01	11.25	17.55	2.88	25.77	3.25	0.21	4.09	1.87	1.05
0.5	Espuma 2 Zn	0.91	78.00	0.30	0.45	21.47	23.44	0.51	7.25	0.05	0.03	8.09	11.50	4.16	16.56	3.78	0.19	4.91	1.72	2.82
1	Espuma 3 Zn	1.83	57.59	0.15	0.29	10.13	26.37	0.66	7.92	0.03	0.03	11.95	11.70	5.35	15.63	8.51	0.48	10.73	2.09	4.76
2	Espuma 4 Zn	3.34	42.25	0.09	0.25	5.10	25.61	0.90	8.31	0.06	0.02	16.03	11.82	8.47	14.39	15.12	1.20	20.58	7.92	5.73
3	Espuma 5 Zn	2.29	35.53	0.05	0.22	1.80	21.74	1.61	6.85	0.05	0.03	9.26	4.62	5.18	3.49	8.82	1.48	11.64	4.39	5.65
5	Espuma 6 Zn	4.61	22.20	0.03	0.21	0.49	16.59	2.08	5.89	0.06	0.00	11.62	6.24	9.72	1.92	13.52	3.85	20.12	10.09	0.24
	Relave- Final	86.06	3.25	0.01	0.07	0.31	3.09	2.68	0.44	0.02	0.01	31.80	36.56	64.24	22.26	47.00	92.59	27.92	71.91	79.76
	Cab. Cal.	100.00	8.80	0.02	0.10	1.18	5.66	2.49	1.35	0.03	0.011	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

**Gráfico 6 Cinetica de flotacion zinc**



**Gráfico 7 Cinética de valores de zinc**



De las tablas y gráficos anteriores se muestran los siguientes comentarios:

- Los valores de zinc muestran una la velocidad de flotación acelerada donde se puede mostrar ya en el minuto 2.5 presenta una recuperación máxima, se estima una recuperación de 77.4% para un periodo acumulado de 5 minutos.
- La velocidad de flotación de los valores de cobre, plomo y plata son más lentas se estiman recuperaciones de 62.5% de cobre, 39.8% de plomo y 67.7% de plata para un periodo acumulado de 5 minutos.
- La cinética del hierro se ve acelerada lo cual podría perjudicaría la calidad del concentrado de zinc, se estima una recuperación de 51.9%.
- Los valores de zinc muestran un índice de enriquecimiento acelerado debido a la flotabilidad baja de los elementos contaminantes, la cinética de flotación acelerada no afecta la recuperación de zinc.

#### 4.2. Presentación, análisis e interpretación de resultados

Los resultados de las evaluaciones muestran el comportamiento metalúrgico de los valores de Ag, Cu, Pb y Zn a las condiciones fisicoquímicas estándares de la evaluación, obteniéndose los concentrados de plomo y zinc con contenido de plata cuyos resultados se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 8 Prueba batch mineral zona horizonte nivel 420**

Balance Metalúrgico Proyectado	%Peso	Ensajes								Recuperacion									
		Ag gr /ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As%	Sb%	Mn%	Bi%	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Sb %	Mn %	Bi %
Cone. Pb	1.11	5605.48	1.26	49.78	2.40	11.52	7.62	0.56	0.19	0.63	68.17	33.28	77.03	1.77	1.75	2.29	21.39	0.07	41.13
Cone. Zn	2.53	319.88	0.66	2.36	46.67	9.33	0.31	0.08	0.62	0.04	8.86	39.88	8.33	78.35	3.24	0.21	6.72	0.55	6.42
Relave Final	96.35	21.83	0.01	0.11	0.31	7.21	3.74	0.02	2.930	0.01	22.98	26.84	14.64	19.88	95.01	97.49	71.89	99.37	52.45
Cab. (calculado)	100.00	91.53	0.04	0.72	1.51	7.31	3.70	0.03	2.84	0.02	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Recuperaciones			
%Ag	%Cu	%Pb	%Zn
77.02		77.03	78.35

De la tabla anterior se comenta lo siguiente:

- El concentrado de plomo muestra una calidad 49.78%, el contenido de plata es 5605.48 gr/ton, el contenido de cobre es 1.26%, la activación de zinc 2.40%, arsénico 7.62% y antimonio 0.56% con recuperación de 77.03%; muestra una calidad y recuperación no favorable con respecto al proceso que presenta la muestra, en cuanto a los contaminantes presenta una concentración alta en arsénico lo cual perjudicaría al concentrado; en estos casos es importante obtener un concentrado de plomo más limpio para bajar el contenido de arsénico.
- El concentrado de zinc muestra una calidad de 46.67%, el contenido de plata de 319.88 gr/ton, contenido de cobre 0.66%, contenido de plomo 2.36%, contenido de fierro 9.33% y contenido de manganeso 0.62% la recuperación es de 78.35%; con respecto a la ley de cabeza muestra recuperación y calidades considerables para nuestro proceso.
- La presencia de fierro como sulfuro no perjudica en la performance metalúrgica de los concentrados ya que con respecto a la ley de cabeza que

presenta la muestra las calidades de los concentrados no se afectan.

- La recuperación acumulada de plata es de 77.02%, recuperación moderada debido a la ley de cabeza que está relacionado con cobre - plomo en la cabeza.

#### 4.2.1. Regresiones entre elementos químicos

Con el set de ensayos químicos (espumas) correspondientes de cada etapa se realiza una regresión lineal entre pares de elementos químicos con la finalidad de establecer correlación y determinar el valor estadístico t-student que expresara la significancia de la correlación, considerando el signo de este valor estadístico si es mayor a 2.57 (G.L 5) y positivo habrá una gran posibilidad de encontrar una relación mineralógica y por el contrario si es negativo se tratará de un desplazamiento indebido a causa del proceso de flotación.

En el siguiente cuadro, se registra el resumen de regresiones entre pares de elementos químicos:

**Tabla 9 Regresiones cinética selectiva circuito bulk**

RESUMEN DE DATOS	Interacción	Ag-Cu	Ag-Pb	Ag-Zn	Ag-Fe	Ag-Mn	Ag-As	Ag-Sb	Ag-Bi	Cu-Pb	Cu-Zn	Cu-Fe	Cu-Mn
	Correlación	0.98	1.00	0.50	0.01	0.78	0.53	0.95	1.00	0.97	0.40	0.05	0.87
	T-Student	13.29	30.46	-2.01	0.19	-3.77	2.13	8.69	34.64	11.99	-1.63	0.44	-5.17
RESUMEN DE DATOS	Interacción	Cu-As	Cu-Sb	Cu-Bi	Pb-Zn	Pb-Fe	Pb-Mn	Pb-A	Pb-Sb	Pb-Bi	Zn-Fe	Zn-Mn	Zn-As
	Correlación	0.66	0.98	0.98	0.55	0.01	0.77	0.51	0.94	1.00	0.22	0.17	0.02
	T-Student	2.77	14.18	15.12	-2.19	0.15	-3.70	2.05	7.63	39.26	1.07	0.90	-0.26
RESUMEN DE DATOS	Interacción	Zn-Sb	Zn-Bi	Fe-Mn	Fe-As	Fe-Sb	Fe-Bi	Mn-As	Mn-Sb	Mn-Bi	As-Sb	As-Bi	Sb-Bi
	Correlación	0.32	0.50	0.29	0.55	0.04	0.01	0.91	0.83	0.79	0.65	0.54	0.96
	T-Student	-1.37	-2.01	-1.28	2.21	0.42	0.19	-6.47	-4.41	-3.84	2.74	2.16	9.54

Del cuadro anterior se comenta:

- La plata está muy correlacionada positivamente al cobre y plomo (+13.29 y +30.46) valores favorables lo cual nos indicaría alta recuperación de plata con buenas concentraciones.

- La plata está muy correlacionada positivamente con antimonio y bismuto (Ag- Sb=+8.69) y (Ag-Bi= +34.64) se podría predominar posible presencia de argentotetraedrita ( $\text{Ag}_{10}(\text{Fe},\text{Zn})_2\text{Sb}_4\text{S}_{13}$ ) mineralógicamente según la regresión estadística.
- La plata tiene una alta correlación con antimonio (Ag-Sb= +8.69) posible presencia de pirargirita ( $\text{Ag}_3\text{SbS}_3$ ).
- El cobre muestra una correlación positiva entre los elementos de plomo y antimonio (Cu-Pb= +11.99, Cu-Sb= +14.18 y Pb-Sb= +7.63), el cual se podría denominar posible presencia de Bournonita ( $\text{PbCuSbS}_3$ ).
- El plomo muestra una correlación positiva con arsénico (Pb-As= +2.05), muestra una correlación lo cual podría haber la posibilidad de incrementarse el contenido de arsénico en el concentrado de plomo, esto se podrá validar la prueba batch con el balance proyectado.
- El contenido de cobre muestra una correlación positiva con arsénico (Cu-As=+2.77) se podría denominar posible presencia de Luzonita ( $\text{Cu}_3\text{AsS}_4$ ).
- La plata no muestra una correlación con fierro (0.19), donde se podrá validar con el estudio de la microscopía óptica.
- El hierro muestra una correlación baja con el arsénico  $\text{Fe-As}= 2.21$ , se podría predominar en esta proporción que existe presencia de arsenopirita ( $\text{FeAsS}$ ) por presentar correlación mineralógicamente.
- El manganeso muestra una correlación negativa con plata, cobre, plomo, arsénico, antimonio y bismuto, según las regresiones muestran resultados no favorables.
- El arsénico muestra correlaciones positivas con el antimonio (+2.74).
- El antimonio muestra una correlación positiva con el bismuto (+9.54).

- Las altas correlaciones positivas entre los valores de plata, cobre, plomo, hierro, bismuto y antimonio muestran correlaciones positivas y tiene relación con la presencia de un mayor contenido de plata, se podría mencionar posible presencia de Cobres Grises, lo que llamaríamos sulfosales de plata (SFAg).
- Las correlaciones entre los valores de hierro-arsénico nos indican que existe la presencia de arsenopirita en mínimas cantidades (FeAsS).
- En la tabla mostrado líneas abajo se registra el resumen de regresiones entre pares de elementos químicos:

**Tabla 10** Regresiones cinética selectiva circuito de zinc.

RESUMEN DE DATOS	Interacción	Ag-Cu	Ag-Pb	Ag-Zn	Ag-Fe	Ag-Mn	Ag-As	Ag-Sb	Ag-Bi	Cu-Pb	Cu-Zn	Cu-Fe	Cu-Mn
	Correlación	0.98	0.42	0.98	0.01	0.70	0.03	0.06	0.07	0.42	1.00	0.00	0.58
	T-Studen	12.78	1.72	13.66	0.16	-3.03	-0.37	-0.50	0.53	1.70	117.24	-0.12	-2.35
RESUMEN DE DATOS	Interacción	Cu-As	Cu-Sb	Cu-Bi	Pb-Zn	Pb-Fe	Pb-Mn	Pb-As	Pb-Sb	Pb-Bi	Zn-Fe	Zn-Mn	Zn-As
	Correlación	0.09	0.03	0.02	0.43	0.10	0.52	0.03	0.06	0.38	0.00	0.60	0.08
	T-Studen	-0.63	-0.33	0.30	1.72	0.67	-2.08	-0.63	-0.49	1.57	-0.09	-2.43	-0.60
RESUMEN DE DATOS	Interacción	Zn-Sb	Zn-Bi	Fe-Mn	Fe-As	Fe-Sb	Fe-Bi	Mn-As	Mn-Sb	Mn-Bi	As-Sb	As-Bi	Sb-Bi
	Correlación	0.03	0.02	0.36	0.90	0.18	0.59	0.15	0.14	0.32	0.05	0.39	0.26
	T-Student	-0.33	0.31	-1.49	6.04	-0.94	2.41	-0.83	0.80	-1.38	-0.45	1.61	-1.19

De la tabla anterior se comenta:

- La plata tiene una correlación positiva con cobre (+12.78).
- La plata tiene una correlación positiva con zinc (+13.66).
- La plata tiene una correlación negativa con manganeso (-3.03).
- El cobre tiene correlación positiva con el zinc (+117.24).
- Zinc con manganeso tiene una correlación negativa (-2.43).
- Fierro tiene una correlación positiva con arsénico (+6.04).

De acuerdo con los resultados obtenidos en el análisis de regresión se formula las siguientes conclusiones:

- La correlación entre el arsénico y el hierro son altos lo cual nos indican que hay la posibilidad presencia de arsenopirita (FeAsS).

#### 4.2.2. Estudio de microscopía óptica

Se llevaron a cabo análisis de microscopía óptica en el concentrado bulk, zinc y relave final. Para este fin, la muestra flotada se deslamó a través de una malla 400, se secó, se homogeneizó y se pesó en 15 gramos para la preparación de briquetas destinadas al pulido y posterior examen microscópico.

*Tabla 11 Descripción de minerales*

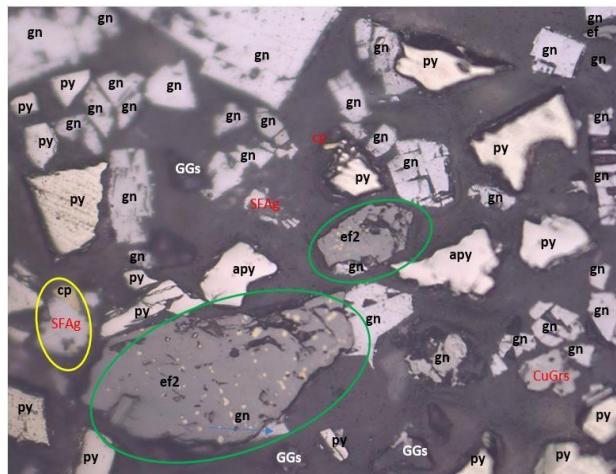
MINERALES	FORMULA	ABREVIATURA
Esfalerita	ZnS	ef
Galena	PbS	gn
Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>	cp
Cerusita	PbCO	crs
Pirita	FeS <sub>2</sub>	py
Arsenopirita	FeAsS	apy
Marcasita	FeS <sub>2</sub>	mc
Magnetita	Fe <sub>3</sub> O <sub>4</sub>	mt
Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	hm
Goethita	FeO.OH	gt
Gangas		GGs

*Tabla 12 Clasificación del tipo de mineral*

TIPO DE CLASIFICACIÓN	NOMBRE MINERAL	FÓRMULA
Minerales de Mena	Esfalerita o Blenda	ZnS
	Hematita	Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>
	Galena	PbS
	Galena	PbAgS
	Argentifera	
	Tetraedrita	(Cu,Fe) <sub>12</sub> Sb <sub>4</sub> S <sub>13</sub>
	Calcopirita	CuFeS <sub>2</sub>
	Bornita	Cu <sub>5</sub> FeS <sub>4</sub>
	Covelita	CuS
	Electrum	Au
Minerales de Ganga	Calcosina	Cu <sub>2</sub> S
	Arsenopirita	FeAsS
	Pirita	FeS <sub>2</sub>
	Cuarzo	SiO <sub>2</sub>
	Rodonita	MnSiO <sub>3</sub>

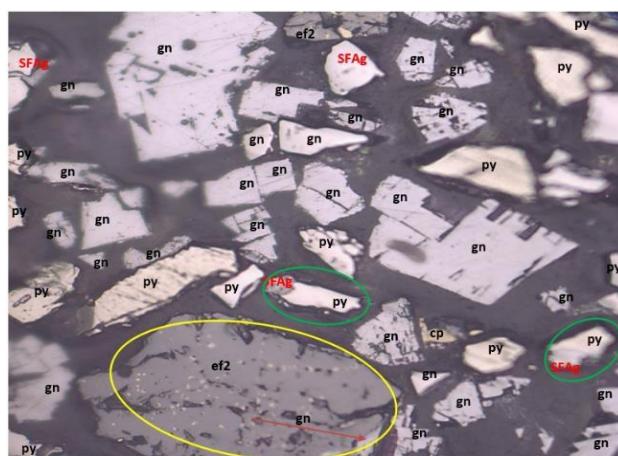
De los estudios de microscopia óptica se obtuvieron las siguientes imágenes:

**Gráfico 8 Concentrado de Bulk malla +400**



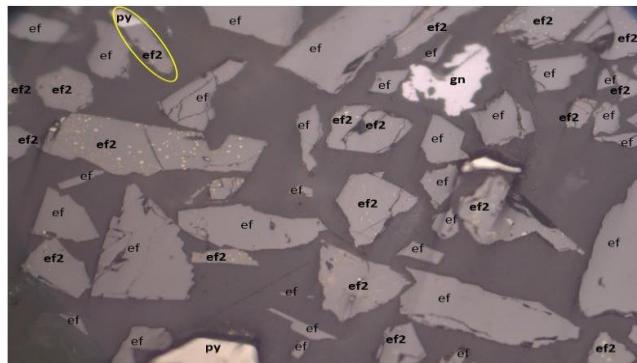
En el grafico se observa dentro de las áreas amarillas partículas mixtas de galena- pirita (**gn/py**), dentro del área verde partícula mixta de calcopirita – cobre gris – ganga (**cp/CuGrs/GGs**), dentro del área anaranjado partícula mixta de esfalerita – galena - pirita (**ef/gn/py**) y dentro del área celeste partícula mixta de cobre gris –pirita (**CuGrs/py**). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita (**ef**), calcopirita(**cp**), galena (**gn**), sulfosal de plata (**SFAg**), cobre gris (**CuGrs**), pirita(**py**), arsenopirita (**As**) y gangas (**GGs**).

**Gráfico 9 Concentrado de Bulk malla +400**



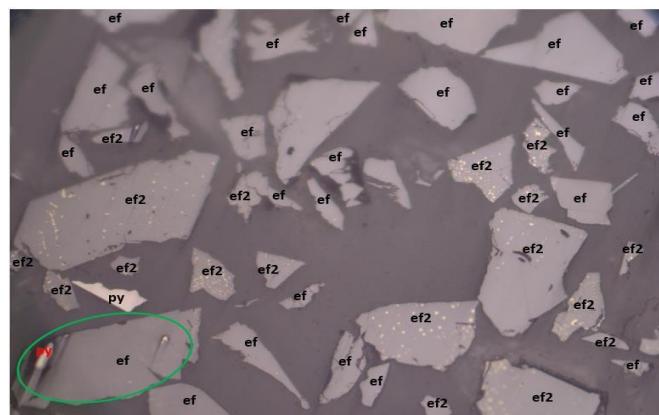
En el grafico se observa dentro de las áreas verdes partículas mixtas de sulfosales de plata - pirita (**SFAg/py**) y dentro del área amarillo partícula mixta de galena – esfalerita tipo2 (**gn/ef2**). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita tipo2 (**ef2**), calcopirita(**cp**), galena (**gn**), sulfosal de plata (**SFAg**) y pirita(**py**).

**Gráfico 10** Concentrado Zn malla +400



En el grafico se observa dentro del área verde partícula mixta de esfalerita – pirita (**ef/py**). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita (**ef**) y pirita(**py**). En mayor cantidad se observa la presencia de esfalerita tipo2 (**ef2**: inclusiones de calcopirita en esfalerita), lo cual perjudicaría en el circuito bulk con mayor activación de zinc y el desplazamiento de cobre – plata podría incrementarse.

**Gráfico 11** Concentrado zinc malla +400



En el grafico se observa dentro del área amarilla partícula mixta de esfalerita tipo2 – pirita (**ef2/py**). Completando la vista se observa partículas libres de esfalerita (**ef**), pirita(**py**) y galena (**gn**). Se observa en una cantidad mayor de esfalerita tipo2 (**ef**: inclusiones de calcopirita en esfalerita) con respecto a lo normal del proceso.

**Gráfico 12 Relave Final malla +400**



En el grafico se observa dentro de las áreas amarillas partículas de ganga con inclusiones de esfalerita (**ef...GGs**). Completando la vista se observa partículas libres de pirita(**py**) y gangas (**GGs**).

**Gráfico 13 Relave Final malla +400**



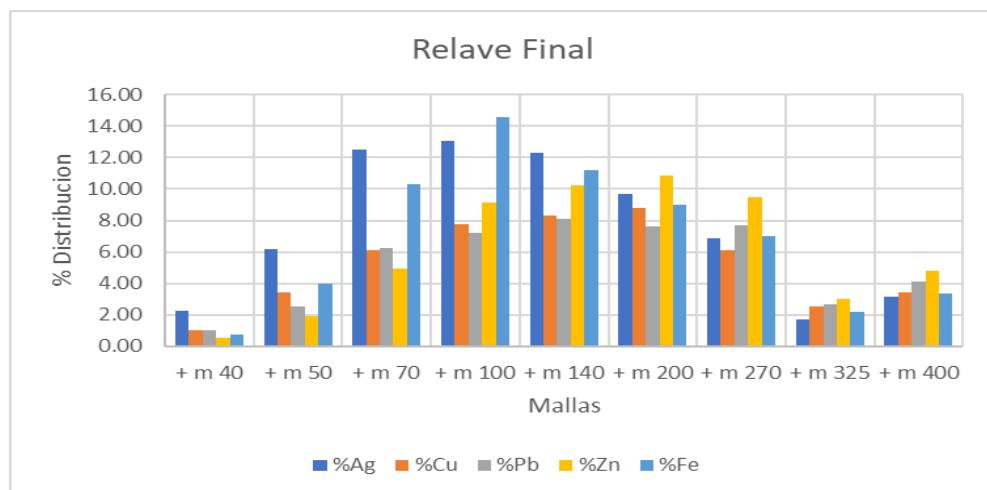
En el grafico se observa dentro del área amarilla partícula mixta de esfalerita – ganga (**ef/GGs**), dentro del área verde partícula mixta de sulfosal de plata – ganga (**SFAg/GGs**) y dentro del área azul inclusiones de esfalerita en ganga (**ef...GGs**). Completando la vista se observa partículas libres de pirita(**py**) y gangas (**GGs**).

#### 4.2.3. Estudio de malla valorada relave final

*Tabla 13 Distribución por mallas del relave final*

Nº Mallas	Abertura um	F(80) = 163.0 $\mu\text{m}$			F (80%)	Leyes					% Distribución por Mallas				
		%peso	%Ac(+)	%Ac(-)		Ag gr/Tn	%Cu	%Pb	%Zn	%Ag	%Cu	%Pb	%Zn	%Fe	
+ m 40	425	0.58	0.58	99.42	0.0	25.70	0.02	0.18	0.26	2.29	1.02	1.02	0.52	0.76	
+ m 50	300	2.43	3.00	97.00	0.0	16.40	0.02	0.10	0.23	6.16	3.40	2.54	1.91	3.96	
+ m 70	212	7.13	10.13	89.87	163.0	11.37	0.01	0.09	0.20	12.54	6.09	6.25	4.93	10.33	
+ m 100	150	12.75	22.88	77.12	0.0	6.63	0.01	0.06	0.21	13.08	7.78	7.19	9.13	14.57	
+ m 140	106	13.04	35.92	64.08	0.0	6.10	0.01	0.06	0.23	12.31	8.31	8.08	10.25	11.19	
+ m 200	75	12.18	48.10	51.90	0.0	5.15	0.01	0.06	0.26	9.71	8.81	7.64	10.87	8.97	
+ m 270	53	9.97	58.07	41.93	0.0	4.46	0.01	0.08	0.28	6.88	6.13	7.68	9.46	7.02	
+ m 325	45	3.32	61.39	38.61	0.0	3.36	0.01	0.08	0.27	1.73	2.52	2.70	3.02	2.16	
+ m 400	38	4.44	65.84	34.16	0.0	4.55	0.01	0.09	0.31	3.13	3.46	4.14	4.77	3.37	
- m 400	0	34.16	100.00	0.00	0.0	6.09	0.02	0.15	0.39	32.19	52.49	52.75	45.14	37.66	
<b>Total</b>		<b>100.00</b>	abeba	Calculad	<b>163.0</b>	<b>6.46</b>	<b>0.01</b>	<b>0.10</b>	<b>0.29</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	<b>100</b>	

*Gráfico 14 Cuadro de % de distribución vs mallas*



De la tabla y grafico anterior se comenta:

- Con respecto a la plata en las mallas gruesas se presenta mayor distribución de 34.07%, en las mallas intermedias esta con distribución de 33.74% y en la malla fina esta con distribución de 32.19%; lo cual es importante el grado de

liberación para minimizar la presencia de partículas mixtas en las mallas gruesas.

- Con respecto a Cu, Pb y Zn mayor distribución se muestra en las mallas intermedias esto muestra tendencias que necesita mejorar el grado de liberación para minimizar la presencia de partículas mixtas.
- En cuanto al fierro muestra que necesita incrementar el tiempo de molienda para minimizar la presencia de partículas mixtas con los elementos de interés.

**Tabla 14** Resumen de datos.

RESUMEN	Interacción	Ag-Cu	Ag-Pb	Ag-Zn	Ag-Fe	Cu-Pb	Cu-Zn	Cu-Fe	Pb-Zn	Pb-Fe	Zn-Fe
DE	Correlación	0.75	0.32	0.32	0.92	0.62	0.03	0.53	0.23	0.20	0.49
DATOS	T-Student	4.21	1.68	-1.69	2.65	3.12	-0.42	2.65	0.59	1.23	-2.87

De la tabla anterior se comenta:

- La plata tiene una correlación positiva con cobre (+4.21).
- La plata tiene una correlación positiva con 2.65(+2.65).
- El cobre tiene correlación positiva con el plomo (+3.12).
- Zinc con fierro tiene una correlación negativa (-2.87).

#### 4.3. Prueba de hipótesis

Existe suficiente evidencia estadística obtenida de las pruebas realizadas de acuerdo al diseño experimental podemos afirmar que el tiempo de acondicionamiento, el pH y la dosificación del floculante MT-6506 influye significativamente en el % remoción de metales presente en las aguas acidas de mina de la poza CW. De acuerdo a las pruebas realizadas los contenidos que sobresalieron por encima de los límites máximos permisibles de acuerdo al DS N°010-2010 cobre(t), hierro(d) y zinc(t) con valores de 0,456 mg/L, 2,67 mg/L y 2,202 respectivamente y comparando con el contenido metálico final son de cobre

(t) 0,007 mg/L, el hierro (d) tuvo 0,02 mg/L y zinc (t) 0,021.

Por ello se presenta a continuación la hipótesis nula y la hipótesis alternativa.

**H<sub>0</sub>**: Mediante el tratamiento de aguas acidas de mina **No se podrá** cumplir el DS N° 010-2010 MINAM de una empresa minera, Lima - 2023.

**H<sub>a</sub>**: Mediante el tratamiento de aguas acidas de mina **Se podrá** cumplir el DS N° 010-2010 MINAM de una empresa minera, Lima - 2023.

El valor de significancia (p-valor) igual a 0,000 el cual es menor a nuestro alfa (0,05), por lo cual rechazamos la hipótesis nula (H<sub>0</sub>) y se acepta la hipótesis alterna afirmando, la evaluación estadística realizada se acepta la hipótesis alternativa y se niega la hipótesis nula debido que los factores A y B (pH y tiempo) respectivamente, así como el ratio de dosificación de lechada de cal, floculante y CO<sub>2</sub>, logrando una remoción de metales como (Cu, Fe y Zn) en promedio mayor de 97%. Presentando un consumo de 0,142 kg/m<sup>3</sup> de lechada de cal en un tiempo de contacto de 20 minutos utilizando el floculante MT-6506 y teniendo un consumo de un flujo de 0,48 L/min para llegar a un pH final de 7,34, cumpliendo con el D.S.N° 010-2010 MINAM.

#### **4.4. Discusión de resultados**

(Huallpa Antoniete, 2018), En sus tesis intitulado “Concentración por flotación de minerales sulfurados: plata, plomo, cobre, zinc y oro en minerales polimetálicos”, presento variedades en el mineral incluían calcopirita (CuFeS<sub>2</sub>), galena (PbS) y esfalerita (ZnS), con presencia de oro y plata, comparando con los minerales presentes en esta investigación fueron los siguientes: Los minerales presentes en este compósito incluyeron galena, geocrónita, calcopirita, esfalerita, así como asociaciones mineralógicas con minerales de cobre y plomo y una ley

de cabeza de 0.04% de cobre, 0.72% de plomo, 1.53% de zinc y 91.35 gramos por tonelada de plata

En su tesis titulada "Tratamiento de minerales mediante el blending para mejorar la calidad de concentrado de plomo zinc de la minera Toropunto a nivel experimental-2019", Benites Laurente & Doloriega Flores (2019) encontraron que la dosificación de A3418 y A208 mejoró la recuperación del plomo y la plata, pero no tuvo impacto positivo en la recuperación del zinc. En el estudio, se utilizaron reactivos como CNNa y una mezcla de xantatos preparados al 1%, así como cal, sulfato de cobre, sulfato de zinc al 10% y H-150 al 100%. El consumo de cianuro de sodio fue de 35 gramos por tonelada para controlar el proceso de flotación. Por otro lado, el consumo de cal fue de 1900 gramos por tonelada, por debajo de los valores habituales de 2,500 gramos por tonelada, debido al pH superior a 8.25.

Además, el consumo de sulfato de cobre fue de 200 gramos por tonelada, dentro de los rangos usuales de 194 gramos por tonelada.

En su tesis titulada "Optimización de la Flotación Polimetálica en la planta concentradora Mallay", Henry (2018) tuvo la necesidad de ajustar el tamaño de partícula en la molienda al 70% de malla -200, seguido por la optimización de la dosificación de reactivos para la recuperación de Pb-Ag. Los resultados del diseño experimental, utilizando un diseño factorial, evidenciaron que se logra una dosificación de A-242, A-3418 y una granulometría del 70% -200 mallas. Respecto a la recuperación de Zinc, se subraya la importancia de considerar la dosificación de Z-11 y CuSO<sub>4</sub> con la misma granulometría, logrando una recuperación cercana al 91%. En la investigación se determinó que el tiempo de molienda óptimo es de 15.18 minutos para alcanzar una malla de corte del 55% -

m200. Los resultados de la prueba Batch mostraron un rendimiento metalúrgico regular para los valores de plata debido a la recuperación acumulada alcanzada (77.02%), mientras que los valores de plomo y zinc presentaron buenos resultados en términos de recuperaciones y calidades obtenidas en la ley de cabeza.

## CONCLUSIONES

De las evaluaciones metalúrgicas y los estudios microscópicos realizados al Mineral Zona Horizonte Nivel 420 Estructura Lucero Ramal Techo Labor TJ-525 se concluye:

1. La dureza que muestra este mineral es de 12.48 kW-h/TM, valor denominado como de dureza media. La determinación del análisis químico de la muestra indicó: 0.04% de cobre, 0.72% de plomo, 1.53% de zinc y 91.35 gr/t de plata, cuyas leyes están relacionadas a la presencia de galena y geocronita ( $Pb_{14}(Sb,As)_{6}S_{23}$ ) para el caso del plomo se demuestra según la regresión estadística; calcopirita, cobre grises y cobres secundarios para el caso del cobre; esfalerita, esfalerita tipo2, esfalerita tipo3, esfalerita tipo5 para el caso de zinc y para el caso de la plata se presenta en asociaciones mineralógicas con los minerales de cobre y plomo con altas correlaciones.
2. De los dos concentrados se concluye que la recuperación de plomo y zinc no son favorable principalmente por presentar la ley de cabeza bajo con respecto al boudget, la calidad de los concentrados está dentro de los grados comerciales con respecto a la ley de cabeza.
3. La recuperación de plata es rentable con respecto a la ley de cabeza y a los parámetros operacionales de la planta concentradora, está relación principalmente por la ley de cabeza de plomo y la cinética de flotación.
4. La performance de plomo no es favorable para el proceso principalmente por la calidad y con la activación de arsénico.
5. En la regresión estadística muestra baja correlación plomo – arsénico, se podría decir que afectaría el contenido de arsénico en el concentrado de plomo, se realizó la prueba batch y obteniendo el balance metalúrgico general se muestra que el arsénico

está en 7.62%, en otros casos se podrá controlar la concentración es obteniendo un plomo más limpio para poder bajar el contenido de arsénico.

6. La cinética de los valores de zinc muestra una velocidad de cinética de flotación lenta, la recuperación muestra bajo con respecto a la ley de cabeza y la calidad presenta dentro de los grados comerciales.
7. La cinética de flotación en la etapa Bulk muestra una flotabilidad acelerada para el plomo seguida de la plata y el cobre influenciados por el contenido de estos valores en la cabeza.
8. Los resultados de la prueba Batch muestra performance metalúrgico regular para los valores de plata debido a la recuperación acumulada alcanzada (77.02%) la performance para los valores de plomo y zinc son buenos con respecto al lay de cabeza debido a las recuperaciones y calidades obtenidas.

## **RECOMENDACIONES**

De la evaluación realizada la muestra presenta un comportamiento metalúrgico moderado, influenciado por sus características mineralógicas, las cuales contribuyen a una cinética de flotación impredecible. Por lo tanto, se recomienda restringir la cantidad de tratamiento aplicado a este mineral en nuestro proceso, principalmente debido a la presencia significativa de arsénico. Esta limitación es crucial para garantizar la eficacia y seguridad del proceso metalúrgico, minimizando los riesgos asociados con la concentración de arsénico en la muestra.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, F. G. (2012). El Proyecto de Investigación Introducción a la metodología científica. Caracas - República Bolivariana de Venezuela: Episteme, C.A.
- Benites Laurente, C. E., & Doloriega Flores, G. A. (2019). Tratamiento de minerales mediante el blending para mejorar la calidad de concentrado de plomo zinc de la minera Toropunto a nivel experimental - 2019. Huacho - Peru: Repositorio de la Universidad Nacional Jose Faustino Sanchez Carrión.
- Henry, T. F. (2018). Optimización de la Flotación polimetalica en la planta concentradora Mallay. Arequipa - Peru: Repositorio de la Universidad Nacional de San Agustín.
- Hernandes Sampieri, R., Fernandez Collado , C., & Baptista Lucio, P. (1997). METODOLOGÍA DELA INVESTIGACIÓN. Colombia: Panamericana Formas e Impresos S.A.
- Huallpa Antoniete, M. E. (2018). Concentración por flotación de minerales sulfurados: plata, plomo, cobre, zinc y oro en minerales polimetálicos. Lima, Peru: Repositorio de la Universidad Nacional de Ingeniería.
- N.Kerlinger , F. (1975). Investigación del comportamiento: técnicas y metodología. Mexico: Nueva Editorial Interamericana.
- Peñuelas, M. A. (2010). MÉTODOS DE INVESTIGACIÓN. Mexico: D.R. Universidad Autonoma de Sinalga.
- Tamayo y Tamayo, M. (2000). El proceso de la investigación científica. Mexico: Limusa.

**ANEXOS:**

## Instrumentos de recolección de datos

### Balance metalúrgico

Balance Metalúrgico Proyectado	70 PESO	Ensayos										Recuperación							
		Ag gr/ton	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As%	Sb%	Mn%	Bi%	Ag %	Cu %	Pb %	Zn %	Fe %	As %	Sb %	Mn %	Bi %
Conc. Pb	1.11	5605.48	1.26	49.78	2.40	11.52	7.62	0.56	0.19	0.63	68.17	33.28	77.03	1.77	1.75	2.29	21.39	0.07	41.13
Conc. Zn	2.53	319.88	0.66	2.36	46.67	9.33	0.31	0.08	0.62	0.04	8.86	39.88	8.33	78.35	3.24	0.21	6.72	0.55	6.42
Relave Final	96.35	21.83	0.01	0.11	0.31	7.21	3.74	0.02	2.930	0.01	22.98	26.84	14.64	19.88	95.01	97.49	71.89	99.37	52.45
Cab. (calculado)	100.00	91.53	0.04	0.72	1.51	7.31	3.70	0.03	2.84	0.02	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00

Recuperaciones			
%Ag	%Cu	%Pb	%Zn
77.02		77.03	78.35

Fuente: Autoría propia

## MATRIZ DE CONSISTENCIA

<b>EFECTO DE LA FLOTACIÓN POR ESPUMAS EN LA RECUPERACION DE PLOMO, ZINC Y PLATA EN LA PLANTA CONCENTRADORA EN UNA EMPRESA MINERA, PASCO 2023.</b>				
PROBLEMA GENERAL	OBJETIVO GENERAL	HIPOTESIS GENERAL	VARIABLES	METODOLOGIA
¿Cuál es el efecto de la flotación por espumas en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto de la flotación por espumas en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la flotación por espumas influye significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.	VARIABLE INDEPENDIENTE  Flotación por Espumas	Enfoque investigación cuantitativa. Tipo de investigación aplicada - tecnológica. Nivel explicativo. Población: mineral de la zona horizonte nivel 420 en la estructura Lucero Romel del techo labor Tj-525. Muestra: 50 kg del sub grupo de la población proporcionada por la empresa Pan American Silver Huaron
PROBLEMAS ESPECIFICOS	OBJETIVOS ESPECIFICOS	HIPOTESIS ESPECIFICA	VARIABLE DEPENDIENTE	
¿ Cuál es el impacto del tiempo de molienda en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto del tiempo de molienda en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el tiempo de molienda estudiada influyen significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.		
¿ Cuál es el efecto de los reactivos de flotación por espumas en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto de los reactivos de flotación diferencial en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que los reactivos de la flotación por espumas estudiada influyen significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.	Recuperación Metalúrgica	
¿ Cuál es el efecto del potencial de hidrogeno en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto del potencial de hidrogeno en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que el potencial de hidrogeno influye significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.		
¿Cuál es el efecto de la cinética de flotación en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023?	Determinar el efecto de la cinética de flotación en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora en una empresa minera, Pasco 2023.	Existe suficiente evidencia estadística para sostener que la cinética de flotación estudiada influye significativamente en la recuperación de zinc, plomo y plata en la planta concentradora de empresa minera, Pasco 2023.		

**Fuente:** Autoría propia